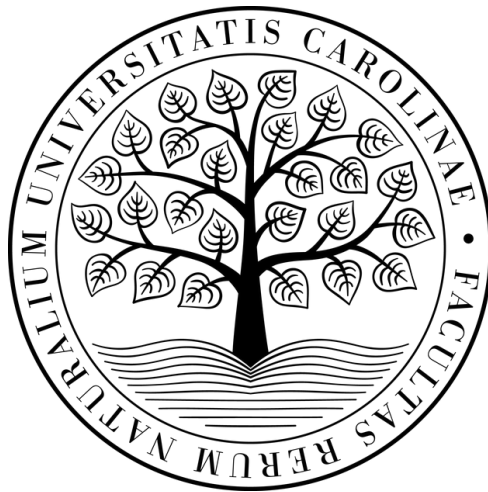


**Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Geologie
Studijní obor: Mineralogie a krystalografie



Bc. Eliška Spurná

Texturní zonalita vyrostlic a základní hmoty v žilách porfyrických hornin

Textural zoning of phenocrysts and groundmass in dikes of porphyritic rocks

Diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. Václav Špillar, Ph.D.

Konzultant práce: RNDr. František Laufek, Ph.D.

Praha, 2024

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 27. 7. 2024

.....

Podpis autora

Poděkování

Ráda bych poděkovala Mgr. Václavu Špillarovi, Ph.D. a RNDr. Františku Laufkovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a především podporu v uskutečnění této práce. Mé poděkování též patří doc. RNDr. Kryštofu Vernerovi, Ph.D. a RNDr. Petru Rajlichovi, CSc., Ph.D. za odbornou pomoc v terénu a při odběru vzorků.

Abstrakt

Žilné horniny poskytují jedinečnou příležitost studovat mechanismy prostorového přemístování a krystalizace magmatu v jednotlivých vývojových stupních. Porfyrové žilné horniny dodatečně nesou informaci o průběhu a podmínkách krystalizace probíhající v hlubinném vývoji mateřského magmatu v zonalitách živcových vyrostlic. Získané poznatky mohou poskytovat klíč k interpretacím komplexních magmatických systémů s podstatně komplikovanější historií. Tato práce využívá petrologické a mineralogické metody ke studiu tří odlišných žilných systémů v západní části Českého Masívu. Využívá kvantitativní texturní analýzy, rentgenové práškové difrakce a mikroanalytické metody ke studiu granitového, syenitového a dioritového porfyru a jejich vyrostlic draselných živců a plagioklasů. Texturní záznamy porfyrových hornin tří žilných systémů a krystalograficko-chemické záznamy jejich živcových vyrostlic poukazují na mechanickou tokovou akumulaci v rámci žilného tělesa na všech tří lokalitách, ale s odlišnými povahami reologie toku magmatu. Záznamy dále poukazují na odlišný hlubinný vývoj a krystalizační podmínky mateřských magmat zkoumaných žilných systémů.

Abstract

Intrusive rocks provide a unique opportunity to study the mechanisms of spatial movement and crystallization of magma in individual stages of development. Intrusive porphyry rocks support additional information about the evolution and conditions of crystallization taking place in the deep development of the parental magma that is contained in the zoning of the feldspar phenocrysts. The knowledge obtained may provide a key to the interpretation of complex magmatic systems with a significantly more complicated history. This thesis utilizes petrological and mineralogical methods to study three different dyke systems in the western part of the Bohemian Massif. Quantitative textural analysis, X-ray powder diffraction and microanalytical methods are used to study granite, syenite and diorite porphyry and their K-feldspar and plagioclase phenocrysts. Textural records of the porphyry rocks of the three dyke systems and crystallographic-chemical records of their feldspar phenocrysts suggest a mechanical flow accumulation taking place within the dyke at all three locations, but with different characteristics of magma flow rheology. The records also suggest different deep developments and crystallization conditions of the parent magmas of the studied dyke systems.

Obsah

Seznam obrázků	vii
Seznam tabulek	ix
Seznam použitých zkratk	x
1 Úvod	1
2 Teoretický základ použitých metod	2
2.1 Kvantitativní texturní analýza	2
2.2 Rentgenová prášková difrakce	7
2.3 Vlnově disperzní spektroskopie	9
3 Krystalografie živců	10
3.1 Krystalová struktura draselných živců	10
4 Materiál a metodika	15
4.1 Studované porfyrové žíly a geologie oblasti	15
4.2 Kvantitativní texturní analýza	16
4.3 Prášková rentgenová difrakce	18
4.4 Mikroanalytické metody	20
5 Výsledky	21
5.1 Petrografický popis	21
5.2 Kvantitativní texturní analýza	27
5.3 Prášková rentgenová difrakce	38
5.4 Mikroanalytické metody	40
6 Diskuze výsledků	50
6.1 Dolní Nerestce	50
6.2 Nihošovice	52
6.3 Pohorsko	53
6.4 Porovnání lokalit	55
7 Závěr	57
Seznam použité literatury	58

A Přílohy	61
A.1 Přehled vzorků	61
A.2 Přehled grafů CSD	62
A.3 Doplňující grafy lineárních fitů CSD	63

Seznam obrázků

2.1	Vztah indexu shluknutí R a krystalinity φ s referenčními funkcemi RTT (<i>Random Texture Trend</i>) a RSDL (<i>Random Sphere Distribution Line</i>), převzato podle Špillar a Dolejš (2015)	3
2.2	Teoretický průběh CSD dvou-generační krystalizace, n je populační hustota a L je velikost zrna, převzato podle Marsh (1998).	5
2.3	Teoretický průběh CSD s postupujícím statistickým zráním, vývoj linií od 1. do 5., převzato podle Higgins (2011).	5
2.4	Teoretický průběh křivek CSD v uzavřeném systému s poklesem objemu existující taveniny, n je populační hustota a L je velikost zrna převzato podle Marsh (1998).	6
2.5	Schéma teoretického průběh CSD v otevřeném systému, n je populační hustota a L je velikost zrna, převzato podle Higgins a Roberge (2003).	7
2.6	Schéma Braggovi podmínky při rozptylu RTG záření na krystalové mřížce, převzato z Halliday a kol. (2013).	8
3.1	Ternární diagram pevného roztoku živců při vysokých teplotách převzato z Putnis (1992).	10
3.2	Část struktury vysokého sanidinu znázorňující čtyř-četný cyklus tetraedrů. Struktura byla znázorněna na základě dat podle Deubener a kol. (1991). Vyznačeny jsou krystalograficky nezávislé pozice T_1 a T_2	11
3.3	Pohled na strukturu vysokého sanidinu v rovině (100). Struktura byla znázorněna na základě dat podle Deubener a kol. (1991). Atomy K^+ obsazují oválné dutiny.	12
3.4	Základní buňka vysokého sanidinu včetně kationtů K^+ . Struktura byla znázorněna na základě dat podle Deubener a kol. (1991).	13
4.1	Rozptyl hodnot shlukovacího indexu R v závislosti na velikosti populace náhodných bodů N , hodnoty podle Jerram a kol. (1996).	18
5.1	Průřez vzorků a jejich zrnitostí napříč intruzí porfyru v Dolních Nerestcích, kde měla intruze odkryté boční i stropní kontakty.	22
5.2	Zonalita živcové vyrostlice ve vzorku DN1 z Dolních Nerestců.	22
5.3	Rozmanitost inkluzí uvnitř živcové vyrostlice ve vzorku DN1 z Dolních Nerestců.	23
5.4	Průřez vzorků a jejich zrnitostí napříč intruzí porfyru v Nihošovicích.	24
5.5	Porovnání pertitických zonalit vyrostlic živců z Nihošovic: a) je vyrostlice vzorku N3 a b) je vyrostlice vzorku N4.	24
5.6	Inkluze v živcové vyrostlici ve vzorku N4 z Nihošovic.	25
5.7	Průřez vzorků a jejich zrnitostí napříč intruzí porfyru v Pohorsku.	26

5.8	Zonalita plagioklasové vyrostlice ve vzorku P3 z Pohorska.	26
5.9	Výplň středu vyrostlice: a) je vyrostlice vzorku P1, která má jen částečné vyplnění a b) je vyrostlice vzorku P3, jejíž střed je zcela zaplněn. Lokalita Pohorsko.	27
5.10	Poměr velikostí L_{RectA}/L_{RectB} , který charakterizuje tvar vyrostlic a n je populační hustota.	28
5.11	Poměr R/φ vzorků z lokality Dolní Nerestce, kde R je shlukovací index s chybovými úsečkami odpovídající rozptylu $v(R)$ podle Jerram a kol. (1996), φ je krystalinita a RTT je <i>Random Texture Trend</i> podle Špillar a Dolejš (2015).	30
5.12	Distribuce velikostí zrn (CSD) vzorků z lokality Dolní Nerestce, kde n je populační hustota a L_{CEq} je velikost vyrostlic.	30
5.13	Rozložení úhlů ξ vzorků z lokality Dolní Nerestce, kde n je populační hustota.	31
5.14	Poměr R/φ vzorků z lokality Nihošovice, kde R je shlukovací index s chybovými úsečkami odpovídající rozptylu $v(R)$ podle Jerram a kol. (1996), φ je krystalinita a RTT je <i>Random Texture Trend</i> podle Špillar a Dolejš (2015).	33
5.15	Distribuce velikostí zrn (CSD) vzorků z lokality Nihošovice, kde n je populační hustota a L_{CEq} je velikost vyrostlic.	34
5.16	Rozložení úhlů ξ vzorků z lokality Nihošovice, kde n je populační hustota.	34
5.17	Poměr R/φ vzorků z lokality Pohorsko, kde R je shlukovací index s chybovými úsečkami odpovídající rozptylu $v(R)$ podle Jerram a kol. (1996), φ je krystalinita a RTT je <i>Random Texture Trend</i> podle Špillar a Dolejš (2015).	36
5.18	Distribuce velikostí zrn (CSD) vzorků z lokality Pohorsko, kde n je populační hustota a L_{CEq} je velikost vyrostlic.	37
5.19	Rozložení úhlů ξ vzorků z lokality Pohorsko, kde n je populační hustota.	38
5.20	40
5.21	Ternární diagram znázorňující složení zonalit živcových vyrostlic (barvy odpovídají jednotlivým lokalitám, kolečko reprezentuje bodové analýzy zonalit, čtvereček reprezentuje bodové analýzy odmišenin v živci), k tvorbě diagramu byl využit program TernaryPlot.com.	41
5.22	Souhrn výsledků bodových analýz pěti profilů vedených od středů vyrostlic draselných živců ve vzorku DN1 z Dolních Nerestců.	43
5.23	Souhrn výsledků bodových analýz čtyř profilů vedených od středů vyrostlic draselných živců ve vzorku N3 z Nihošovic.	45
5.24	Souhrn výsledků bodových analýz šesti profilů vedených od středů vyrostlic draselných živců ve vzorku N4 z Nihošovic.	46
5.25	Souhrn výsledků bodových analýz tří profilů vedených od středů vyrostlic plagioklasových živců ve vzorku P1 z Pohorska.	48
5.26	Souhrn výsledků bodových analýz tří profilů vedených od středů vyrostlic plagioklasových živců ve vzorku P3 z Pohorska.	49
A.1	Porovnání použitých aproximací velikosti vyrostlic L pro D. Nerestce.	62
A.2	Porovnání použitých aproximací velikosti vyrostlic L pro Nihošovice.	63
A.3	Porovnání použitých aproximací velikosti vyrostlic L pro Pohorsko.	64
A.4	Linerární fit CSD lokality Dolní Nerestce s rezidui po fitování.	65
A.5	Linerární fit CSD lokality Nihošovice s rezidui po fitování.	66
A.6	Linerární fit CSD lokality Pohorsko s rezidui po fitování.	67

Seznam tabulek

5.1	Přehled kvantitativních texturních dat z lokality Dolní Nerestce (S = studovaná plocha, N = počet zrn, φ = krystalinita, R = shlukovací index, $v(R)$ = rozptyl hodnot shlukovacího indexu, $\tilde{\chi}(L_{CEq})$ = medián hodnot velikosti).	29
5.2	Statistika kvantitativních texturních dat z lokality Dolní Nerestce (L_{ch} = charakteristická velikost, $\sigma(L_{ch})$ = směrodatná odchylka hodnot charakteristické velikosti, $\bar{\chi}(Nb)$ = aritmetický průměr počtu kontaktních sousedů, $\tilde{\chi}(Nb)$ = medián počtu kontaktních sousedů, $\bar{\chi}(Nb \geq 1)$ = aritmetický průměr počtu kontaktních sousedů, kterých je jeden a více, $\tilde{\chi}(Nb \geq 1)$ = medián počtu kontaktních sousedů, kterých je jeden a více).	29
5.3	Přehled kvantitativních texturních dat z lokality Nihošovice (S = studovaná plocha, N = počet zrn, φ = krystalinita, R = shlukovací index, $v(R)$ = rozptyl hodnot shlukovacího indexu, $\tilde{\chi}(L_{CEq})$ = medián hodnot velikosti).	32
5.4	Statistika kvantitativních texturních dat z lokality Nihošovice (L_{ch} = charakteristická velikost, $\sigma(L_{ch})$ = směrodatná odchylka hodnot charakteristické velikosti, $\bar{\chi}(Nb)$ = aritmetický průměr počtu kontaktních sousedů, $\tilde{\chi}(Nb)$ = medián počtu kontaktních sousedů, $\bar{\chi}(Nb \geq 1)$ = aritmetický průměr počtu kontaktních sousedů, kterých je jeden a více, $\tilde{\chi}(Nb \geq 1)$ = medián počtu kontaktních sousedů, kterých je jeden a více).	32
5.5	Přehled kvantitativních texturních dat z lokality Pohorsko (S = studovaná plocha, N = počet zrn, φ = krystalinita, R = shlukovací index, $v(R)$ = rozptyl hodnot shlukovacího indexu, $\tilde{\chi}(LCEq)$ = medián hodnot velikosti).	35
5.6	Statistika kvantitativních texturních dat z lokality Pohorsko (L_{ch} = charakteristická velikost, $\sigma(L_{ch})$ = směrodatná odchylka hodnot charakteristické velikosti, $\bar{\chi}(Nb)$ = aritmetický průměr počtu kontaktních sousedů, $\tilde{\chi}(Nb)$ = medián počtu kontaktních sousedů, $\bar{\chi}(Nb \geq 1)$ = aritmetický průměr počtu kontaktních sousedů, kterých je jeden a více, $\tilde{\chi}(Nb \geq 1)$ = medián počtu kontaktních sousedů, kterých je jeden a více).	36
5.7	Semikvantitativní složení vyrostlice draselného živce z porfyru z lokality Nihošovice.	39
5.8	Krystalografické parametry základní buňky vyrostlice draselného živce z lokality Nihošovice. Uváděné odchylky parametrů jsou výsledkem matematického zpracování při výpočtu mřížkových parametrů a jsou podhodnocené. Realistický odhad odchylek je řádově větší.	39
5.9	Výpočet triklinity z hodnot d_{131} a $d_{\bar{1}\bar{3}1}$	40
A.1	Přehled lokalit, vzorků a prováděných analýz.	61

Seznam použitých zkratek

AMS anizotropie magnetické susceptibility

BSE zpětně odražené elektrony

CL katodová luminiscence

CSD distribuce velikostí zrn (crystal size distribution)

EDS energiově disperzní spektroskopie

ICDD PDF International Centre for Diffraction Data, Powder Diffraction File

ICSD Inorganic Crystal Structure Database

PřF UK Přírodovědecká Fakulta, Univerzita Karlova

SE sekundární elektrony

RTG rentgen

RSDL random sphere distribution line

RTT pole náhodného rozmístění (random texture trend)

WDS vlnově disperzní spektroskopie

XRD rentgenová difrakce

1. Úvod

Žilné horniny, na rozdíl od plutonitů, mají transparentnější a kratší vývojovou historii, což poskytuje unikátní možnost studovat kinetické a mechanické procesy magmatu v přímočařejších podmínkách. Jednotlivé intruze mohou dokumentovat jednotlivé vývojové etapy mateřského magmatu, jelikož jsou dávkované po pulzech a oproti plutonu, relativně rychle utuhávají. Kvantitativní texturní analýza je užitečnou metodou k rozklíčování záznamu uloženého uvnitř magmatické stavby. Problematikou se například zabývají Higgins a Roberge (2003); Mock a kol. (2003); Marsh (1998); Yang (2012). Živce, jejich chemická zonalita a jejich strukturní symetrie mohou poskytnout unikátní náhled na geologickou historii dané horniny nebo horninového prostředí. Zonalitám živců a jejich oscilacím se věnují práce například Słaby a kol. (2011); Perugini a kol. (2005); Lubbers a kol. (2023); Landi a kol. (2019). Samotné krystalové mřížce živce a studiu jejich souvislostí se zabývá práce například Horvat a kol. (2011). Porfyrové žilné horniny poskytují zajímavou kombinaci zdrojů informací v podobě texturního záznamu samotné žíly a v podobě zachycení vyrostlic živců nesoucí záznam ve své krystalové mřížce a chemické zonalnosti. Tato diplomová práce spojuje petrologické a mineralogické metody ve snaze nalézt ucelenější pohled na problematiku vývoje magmatu a procesů krystalových suspenzí. Studuje texturní záznamy kontrastních porfyrů ze západní části Českého Masívu a krystalograficko-chemické záznamy jejich populace živcových vyrostlic. K tomuto studiu byla vybrána intruze biotického granitové porfyru v Dolních Nerestcích, žíla syenitového porfyru v Nihošovicích, obě s vyrostlicemi draselných živců, a intruze dioritového porfyru v Pohorsku s vyrostlicemi plagioklasů.

2. Teoretický základ použitých metod

2.1 Kvantitativní texturní analýza

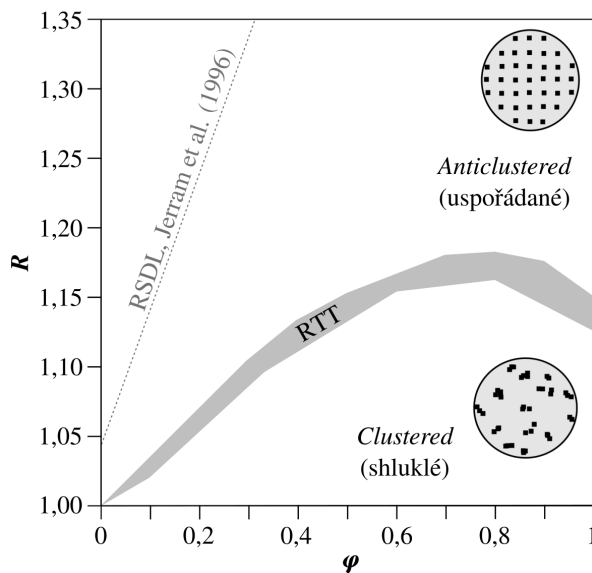
V rámci kvantitativní texturní analýzy se na základě parametrů z 2D nebo 3D prostoru vyvozují texturní vlastnosti materiálu v podobě veličin, které lze porovnávat mezi sebou. Z daných veličin je možné vyvodit závěry o stavbě materiálu, ať už z pohledu kontroly kvality industriální výroby, či z pohledu geologického, který pojednává o původu materiálu, jeho umístění a zrání, případné rekrytalizaci, a další. Jedná se o čistě výpočetní metody, které byly vyvíjené odděleně, ale vzájemně se doplňují a lze je využít společně k utvoření ucelenějšího obrazu.

Krystalinita Krystalinita φ je petrologická veličina odpovídající reciproké hodnotě porozity za předpokladu přítomnosti suspenze v částečně vykrytalizované tavenině. Představuje poměrové zastoupení objemu vyrostlic (zrn) vůči celkovému objemu vzorku, respektive udává jejich modální zastoupení.

Shlukovací index Shlukovací index R je veličina charakterizující míru uspořádání, náhodnosti nebo shlukování, poprvé zavedena v Clark a Evans (1954). Ti ji definovali jako poměr pozorované průměrné vzdálenosti mezi nejbližšími sousedními body vůči průměrné vzdálenosti nejbližších sousedních bodů distribuovaných poissonovým bodovým procesem. Tento výpočet však nezohledňuje okraj zájmového prostoru a je proto vhodné využít korekci zvolenou dle zamýšlené problematiky, jako je například Donnellyho korekce na *edge-effect* (Donnelly (1978)). Jelikož se jedná o obecnou matematickou metodu, tak ji lze použít jak na popsání rozmístění bodů, tak po jistých úpravách i na rozmístění objektů s nenulovou plochou, například krystalů. Této možnosti využili práce například Kretz (1966) a Jerram a kol. (1996). Shlukovací index dle Jerram a kol. (1996) je udáván rovnicí

$$R = \frac{R_A}{R_E}, \quad (2.1)$$

kde R_A je pozorovaná (*actual*) průměrná vzdálenost středu nejbližšího sousedního zrna a R_E je očekávaná (*expected*) průměrná vzdálenost nejbližšího sousedního bodu dle náhodného rozdělení vypočtené tak, aby odpovídalo stejnému počtu bodů, přeneseně představující středy zrn, na jednotku plochy vzorku. Středem zrna se v tomto výpočtu rozumí kalkulované těžiště vlastního zrna, nebo střed kružnice či elipsoidu fitovaném na vlastní zrno.



Obrázek 2.1: Vztah indexu shluknutí R a krystalinity φ s referenčními funkcemi RTT (*Random Texture Trend*) a RSDL (*Random Sphere Distribution Line*), převzato podle Špillar a Dolejš (2015)

Hodnoty, jichž může nabývat shlukovací index R z pohledu Clark a Evans (1954), respektive z pohledu představy 2D prostoru s body s nulovou plochou, se pohybují okolo jedné. Přičemž R nabývá hodnot $R < 1$, pokud se jedná o agregovaný soubor bodů, hodnot $R > 1$, pokud se jedná o soubor bodů vykazující uspořádání, a když $R = 1$ tak soubor bodů odpovídá náhodnému uspořádání. Oproti tomu, pokud se metoda aplikuje na zrna, respektive objekty, které nemají nulovou plochu, tak intervaly hodnot zmíněné výše je nutné upravit na tento aspekt. Nenulová plocha způsobuje, že vzdálenost středů dvou sousedních zrn nemůže být nikdy nulová, nejnižší možná vzdálenost je omezena samotnou plochou těchto dvou zrn, přestože by se hranice zrn dotýkaly. Pozorované R_A se tudíž posouvá do mírně vyšších hodnot oproti odpovídajícímu R_E , které je kalkulované z bodů s nulovou plochou. Proto se celkové hodnoty R mírně zvyšují a náhodné rozdělení tedy odpovídá v tomto případě hodnotám lehce nad hodnotou jedna. S ohledem na tento

matematický jev se zavádějí referenční funkce, například RTT (*Random Texture Trend*) podle Špillar a Dolejš (2015) nebo RSDL (*Random Sphere Distribution Line*) podle Jerram a kol. (1996), znázorněné na grafu R/φ viz obrázek č. 2.1.

Distribuce velikostí zrn Distribuce velikostí zrn (CSD = *crystal size distribution*) je spojité histogram vyjadřující populační hustotní funkci v 3D prostoru. Proměnná této funkce je populační hustota zrn n dána rovnicí

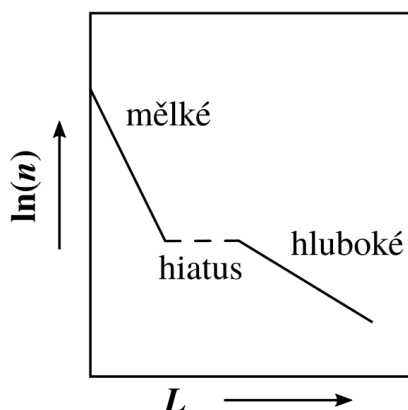
$$n = \frac{dN}{dL}, \quad (2.2)$$

kde N je počet zrn a L je velikost zrn (Marsh, 1988; Randolph a Larson, 1988). Při simulacích je velikost zrn L funkcí rychlosti růstu a krystalizačního času závislého na rychlosti nukleace. Na reálných fyzických vzorcích je velikost zrn L zjišťována empiricky a odpovídá nejdelší měřené ose zrna nebo nejdelší měřené ose fitu zrna.

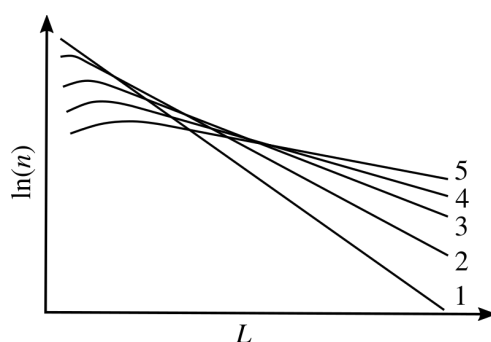
Distribuce velikostí zrn může být velmi užitečný nástroj pro hodnocení vývoje textury, ale i pro původ materiálu. Vývojem textury je zde myšleno pozměnění primárních kinetických textur vlivem, například změnami teploty a tlaku, postupující krystalizací, uplývajícím časem, dostatkem či nedostatkem taveniny, vlivem mísení a dalšími vlivy způsobující nerovnováhu systému (Higgins (2011); Simakin a Bindeman (2008); Marsh (1998)). Distribuce velikostí zrn často umožňuje snadno odlišit generace vyrostlic, nebo-li etapy krystalizace. Na obrázku č. 2.2 jsou rozpoznatelné dvě generace: první hlubinná etapa krystalizace proběhla ještě před vmístěním magmatu, například do žíly nebo menšího rezervoáru a její vyrostlice jsou větší, poté po vmístění následovala druhá mělká etapa, kde se v chladnějším rychle utuhavajícím prostředí vytvořily menší vyrostlice, zatímco ty z první etapy se ještě zvětšily o přírůstkové lemy.

Dalším jevem rozpoznatelným distribucí velikostí zrn je statickém zrání, kde je linie CSD více konkávní a s postupujícím zráním se prohnutí přesouvá do větších velikostí zrn, až dojde k celkovému zploštění linie (Higgins (2011)), znázorněna na obrázku č. 2.3. Pokud by se jednalo o systém, který při krystalizaci nebyl narušen, respektive téměř dokonalý uzavřený systém, poté by se linie CSD hypoteticky blížila k přímce s konstantním sklonem. Podobnost této linie s přímkou by byla jen narušena v oblasti malých velikostí

zrn, z důvodu nedostatku taveniny při postupující krystalizaci. Popsáno v Marsh (1998), viz obrázek č. 2.4.



Obrázek 2.2: Teoretický průběh CSD dvou-generační krystalizace, n je populační hustota a L je velikost zrna, převzato podle Marsh (1998).

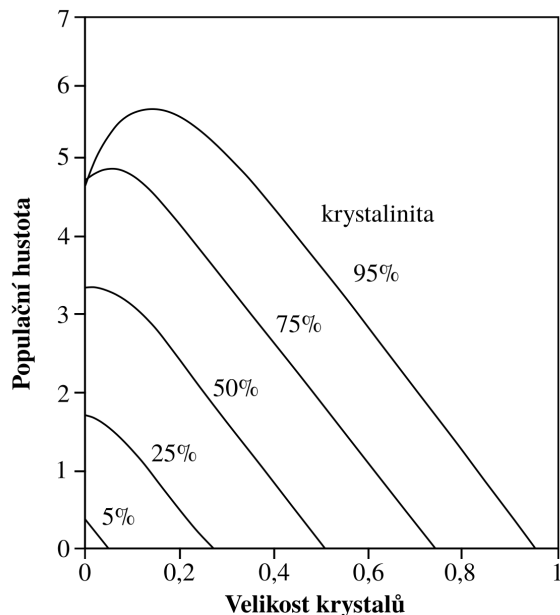


Obrázek 2.3: Teoretický průběh CSD s postupujícím statistickým zráním, vývoj linií od 1. do 5., převzato podle Higgins (2011).

Jelikož nové krystalizační zárodky vznikají pouze v tavenině, při jejím nedostatku klesá produkce nových nukleí, což se projeví na celkové populaci vyrostlic. Charakter této linie CSD v uzavřeném systému však nemusí být dodržen, pokud systém chladne delší dobu. Udrží se tedy dlouhodobě vyšší teplotu, což může dát možnost difúzi vytvářející jev statického zrání, či frakcionaci v podobě gravitační diferenciace. Při analýze hornin se však pravděpodobně nejčastěji setkáme s otevřeným systémem, kde linie CSD bude ovlivněna řadou příspěvků.

Mezi další příspěvky patří například resorbce, která posune celkovou populaci zrn do nižších velikostí (Simakin a Bindeman (2008)). Resorbci může zapříčinit opakující se periodický přísun magmatu do již utuhávajícího systému, vmísení magmatu s odlišným

složení, nebo i samotný výstup magmatu a jeho dekomprese (Best (2002)). Jeden z možných jednodušších scénářů otevřeného systému je znázorněn na obrázku č. 2.5, který znázorňuje možné ovlivnění linie CSD opakujícím se pulzem magmatu o stejném složení.

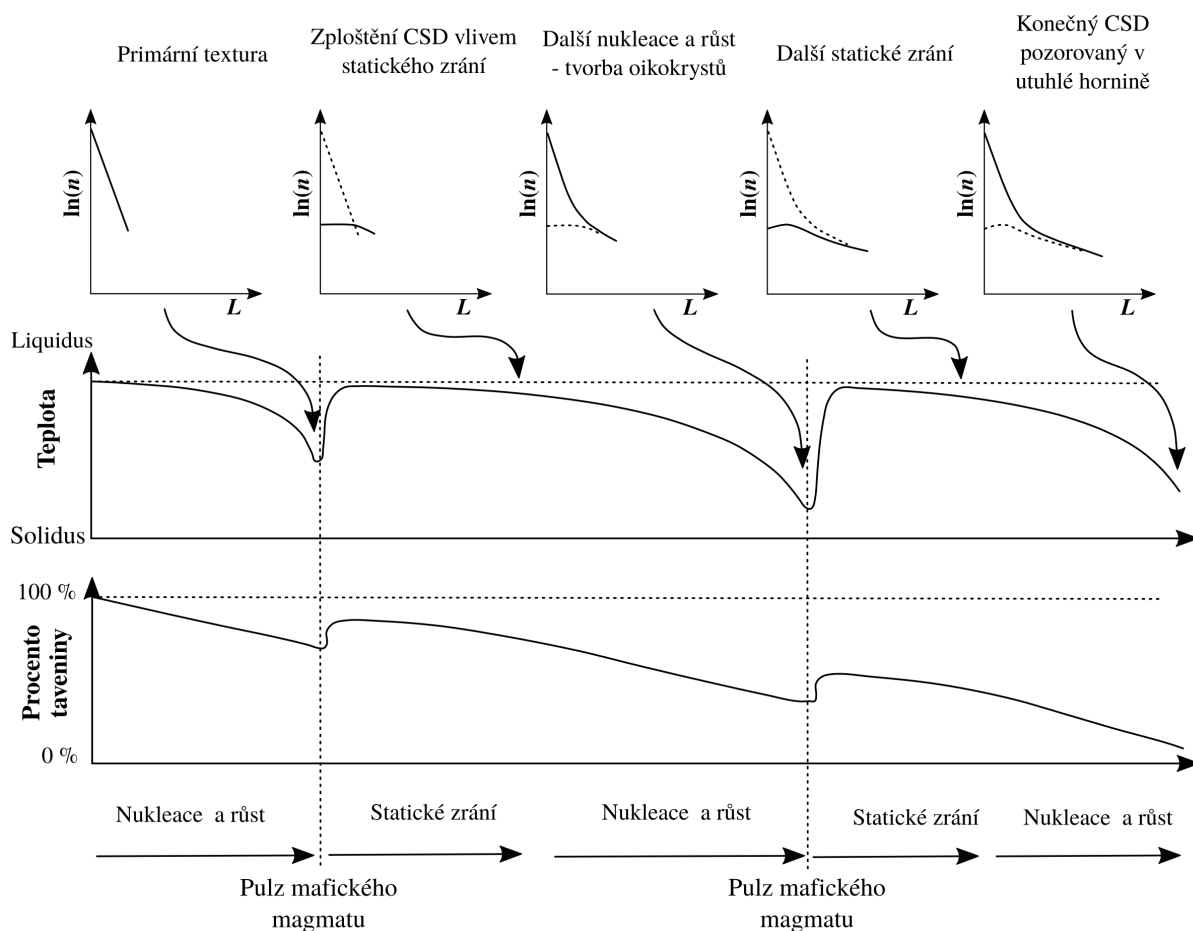


Obrázek 2.4: Teoretický průběh křivek CSD v uzavřeném systému s poklesem objemu existující taveniny, n je populační hustota a L je velikost zrna převzato podle Marsh (1998).

Charakteristická velikost zrna Charakteristickou velikost zrna L_{ch} lze považovat za statistický ukazatel populace zrn, který hodnotí jejich typickou velikost. Veličina L_{ch} je vypočítána z reciprokého sklonu přímky fitované na lineární část CSD křivky podle rovnice

$$L_{ch} = \left| \frac{1}{k} \right|, \quad (2.3)$$

kde k je sklon fitované lineární přímky (Marsh (1998)). Hodnota charakteristické velikosti zrna L_{ch} je nejčastěji udávána v jednotce milimetrů.



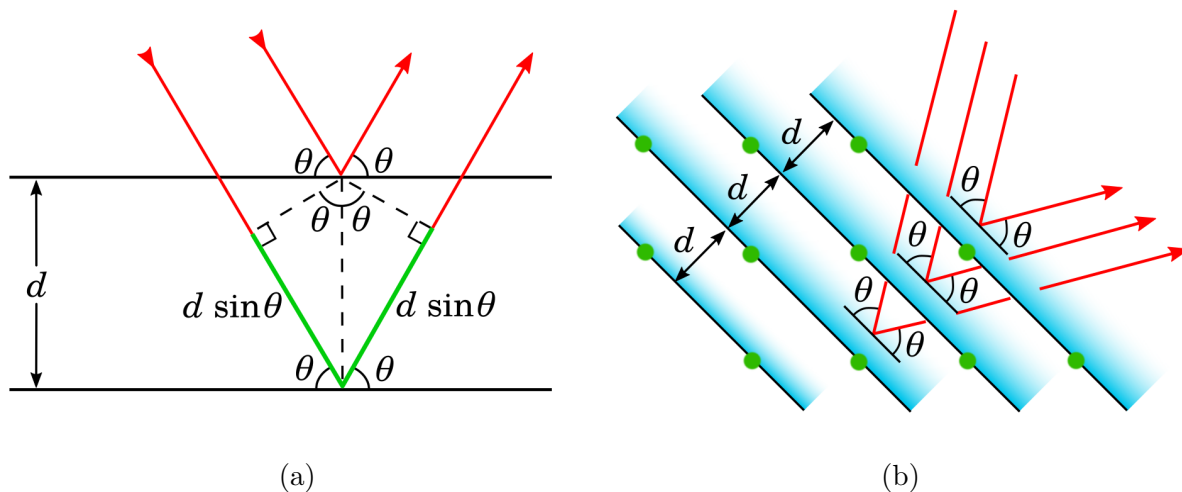
Obrázek 2.5: Schéma teoretického průběhu CSD v otevřeném systému, n je populační hustota a L je velikost zrna, převzato podle Higgins a Roberge (2003).

2.2 Rentgenová prášková difrakce

Rentgenové záření je příčné elektromagnetické vlnění s duální povahou vlnění a částic. Vlnové délky RTG záření se pohybují od 10 nm do 10 pm, což odpovídá jednotkám angstromu od 0,1 do 100 Å. V krystalografii se nejvíce využívá RTG záření s vlnovou délkou okolo 1 Å, například $\text{CuK}\alpha_1 = 1.54059 \text{ Å}$ nebo $\text{CoK}\alpha = 1.78896 \text{ Å}$. Právě tento řád velikosti vlnové délky RTG záření dovoluje jeho žádané interakci s krystalovou strukturou materiálu, která má mezirovinné vzdálenosti v obdobných délkách. Jedním z projevů této interakce je rozptyl RTG záření na krystalové mřížce (viz obrázek č. 2.6 b), a koherentní složka tohoto rozptylu se využívá k analýzám rentgenové difrakce (XRD). RTG záření v krystalu interaguje s elektrony v elektronovém obalu atomů. Proto aby RTG záření difraktovalo na krystalové mřížce, musí být splněna podmínka Braggovi rovnice

$$n\lambda = 2d_{hkl}\sin(\theta), \quad (2.4)$$

kde n je celé číslo udávající řád difrakce, λ je vlnová délka použitého rentgenového záření, d_{hkl} je mezivrstevná vzdálenost a θ je difrakční úhel. Difrakční geometrie Braggovy podmínky je znázorněna na obrázku č. 2.6a. (Prosser (1989))



Obrázek 2.6: Schéma Braggovi podmínky při rozptylu RTG záření na krystalové mřížce, převzato z Halliday a kol. (2013).

Při práškové rentgenové difrakci je zkoumán polykrystalický preparát, který v ideální předpokladu obsahuje nekonečné množství náhodně orientovaných koherentně difrakčních domén. Analýza probíhá v práškovém difraktometru například při uspořádání na odraz, respektive v Bragg-Brentanově uspořádání. V tomto uspořádání je RTG záření monochromatizováno použitím vhodného monochromátoru, tzv. beta-filtru nebo energeticky disperzní funkcí detektoru. Tak je zajištěna konkrétní volba použité vlnové délky, respektive λ je fixována, difrakční úhel θ je měřen a následně s využitím rovnice (2.4) počítána hodnota mezivrstevné vzdálenosti d_{hkl} konkrétních mřížkových rovin. Různé metody instrumentace, výhody a nevýhody jednotlivých monochromátorů jsou popsány například v práci Smrčok (1994). V průběhu měření je vzorek neustále ozářován RTG zářením z RTG lampy, postupně se mění difrakční úhel θ a detektor měří intenzitu difraktovaného RTG záření. Výstupem z měření je práškový RTG difrakční záznam, tj. závislost intenzity rozptýleného RTG záření na difrakčním úhlu 2θ . Pozice difrakcí jsou klíčové při výpočtu mřížkových parametrů. Intenzita naměřeného píku je úměrná množství dané látky ve vzorku a dále veličině udávané jako tzv. strukturní faktor F_{hkl} . Pološířka difrakcí (tj. šířka píku v jeho poloviční výšce) závisí především na velikosti koherentně difrakčních domén, mikropnutí a použité instrumentaci. Detailní popis lze najít například v práci

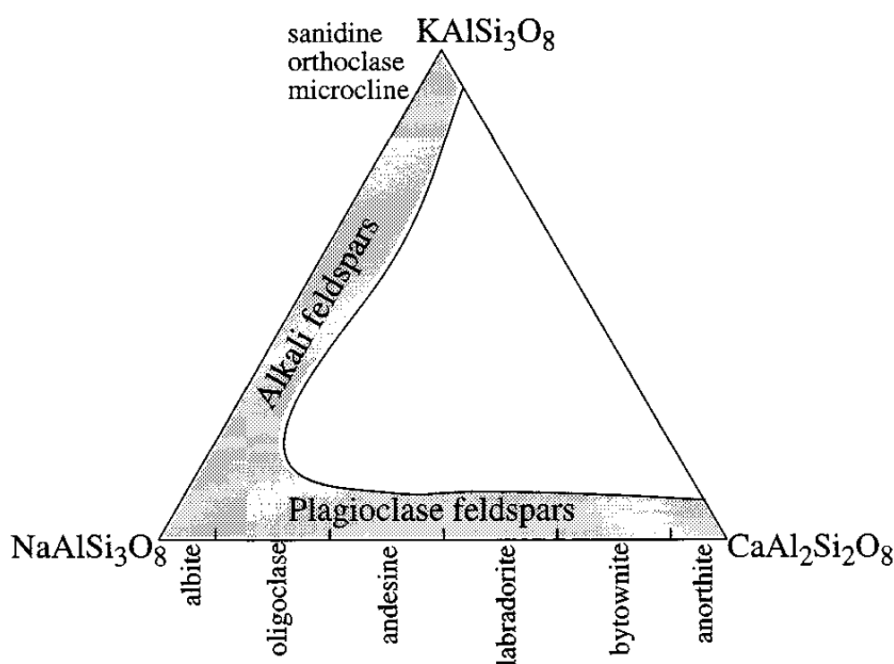
Valvoda a kol. (1992). RTG difrakční záznam krystalické látky je jedinečný pro danou krystalickou látku. Prášková RTG difrakce je tak vhodná metoda pro kvalitativní i kvantitativní fázovou analýzu pevných krystalických vzorků. Aplikace nachází také při výpočtech mřížkových parametrů a řešení a zpřesňování krystalových struktur. Další aplikace jsou popsány například v práci Valvoda a kol. (1992).

2.3 Vlnově disperzní spektroskopie

Na rozdíl od metod rentgenové difrakce není při vlnově disperzní spektrometrii (WDS) zdrojem RTG záření rentgenová lampa, ale studovaný preparát. Proud elektronů, generovaný elektronovým dělem mikroanalyzátoru, dopadá na preparát, kde dochází k interakci elektronů s atomy zkoumaného preparátu. Z okolí místa dopadu proudu elektronů je následně vyzářeno několik typů elektronů, například zpětně odražené (BSE), sekundární (SE), Augerovi, a difraktované elektrony. Dále je vyzářeno viditelné světlo v podobě katodové luminiscence (CL) a charakteristické RTG záření. Metoda vlnově disperzní spektroskopie (WDS) využívá vyzářeného charakteristického rentgenového záření, které se produkuje když proud elektronů o dostatečné energii vyrazí elektron z nižší orbitalové vrstvy atomu v preparátu. Chybějící elektron ve vnitřní elektronové slupce je okamžitě zaplněn elektronem z vyšší orbitalové vrstvy. Dané hladiny mají konkrétní hodnoty energie, a tak při těchto přeskokách elektronu dochází k vyzáření charakteristického záření (v podobě RTG). Toto záření má charakteristickou vlnovou délku danou množstvím energie, které je přesně definovaná rozdílem energetických stavů vrstev konkrétního prvku, způsobující produkci charakteristických čar RTG záření. Toto záření je detekováno pomocí vlnově disperzního detektoru (WDS). Ten obsahuje vhodné krystaly (např. LiF, PET) o přesně známé mezirovinné délce. Při využití rovnice (2.4) lze tak přesně získávat charakteristická RTG spektra zájmových prvků ve zkoumaném preparátu. (Eby (2004))

3. Krystalografie živců

Živec je alumosilikát s obecným vzorcem MT_4O_8 , kde na pozici T se nachází atomy Al a Si, a na pozici M vstupují kationty Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , v menší míře i Rb^+ , Ba^{2+} a Sr^{2+} . Většina živců vyskytujících se v přírodě spadá do ternárního systému $KAlSi_3O_8$ (*ortoklas*) – $NaAlSi_3O_8$ (*albit*) – $CaAl_2Si_2O_8$ (*anortit*) (viz obrázek č. 3.1). Živce se v rámci ternárního systému rozdělují do dvou skupin: první jsou alkalické, nebo-li sodno-draselné živce, a druhá skupina je plagioklasová řada s posloupností od sodného albitu až po vápenatý anortit. Živce při vysokých teplotách tvoří pevné roztoky mezi sebou. Při poklesu pod teplotní mez, jejíž konkrétní hodnota je ovlivňována tlakem, se jednotlivé typy živců začnou od sebe separovat a vytváří tak pertitové stavby v rámci původního směšného minerálu. (Putnis (1992); Deer a kol. (2013))

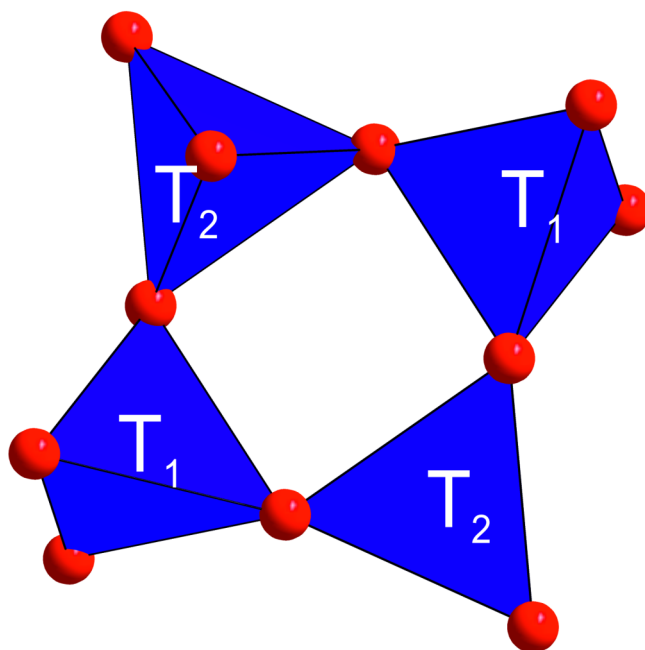


Obrázek 3.1: Ternární diagram pevného roztoku živců při vysokých teplotách převzato z Putnis (1992).

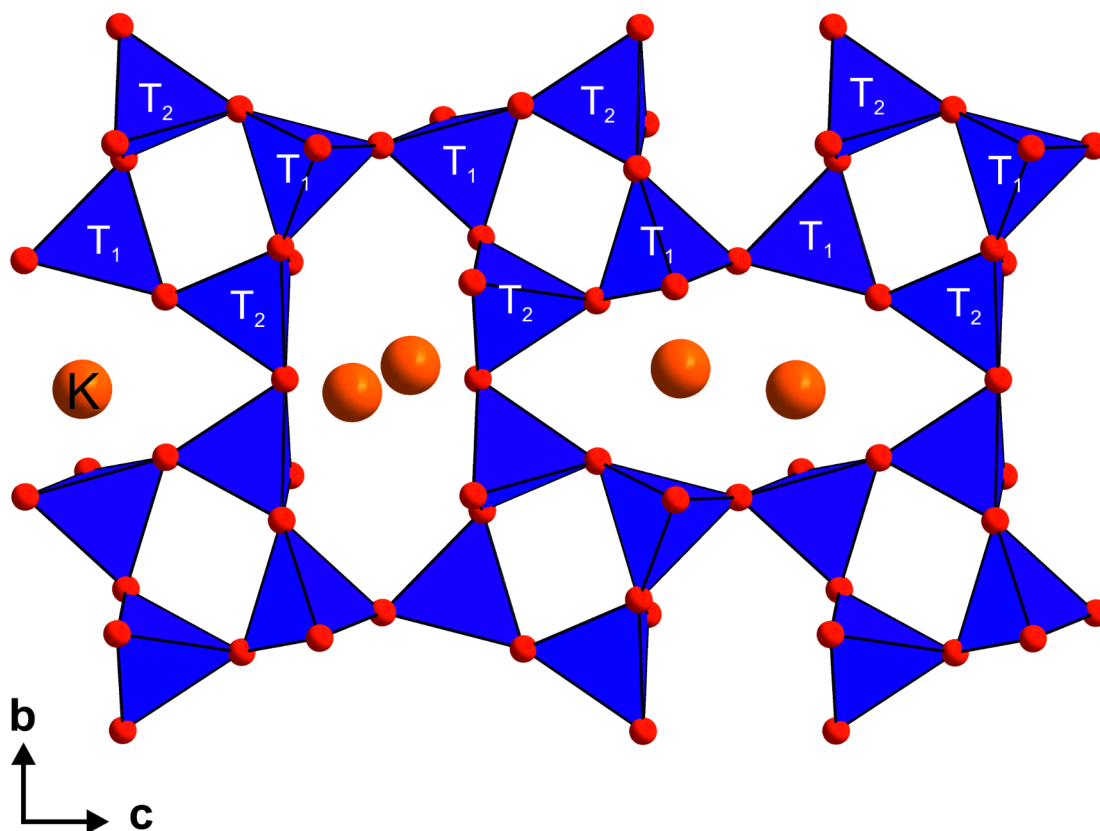
3.1 Krystalová struktura draselných živců

Draselný živec je tektosilikát, jehož krystalová struktura je uspořádaná z řetězců tetraedrů, které se působením vnějších vlivů mohou různě natáčet vůči sobě, což zapříčiňuje snižování nebo zvyšování symetrie. Následný popis struktury se vztahuje konkrétně na

sanidin, což je vysokoteplotní polymorf draselného živce a dosahuje nejvyšší symetrie v podobě prostorové grupy $C2/m$. Základním stavebním blokem celé struktury je čtyř-četný cyklus skládající se ze čtyř tetraedrů, viz obrázek č. 3.2. Tetraedry TO_4 , mají v centru na pozici T atom hliníku nebo křemíku, a vrcholy tetraedrů jsou tvořené sdílenými atomy kyslíku. V rámci čtyř-četného cyklu se vytváří ve struktuře sanidinu dvě krystalograficky odlišné pozice T_1 a T_2 , a každá z nich je statisticky rovnocenně obsazena z 25 % atomy Al a ze 75 % atomy Si. Tento způsob obsazení tetraedrických pozic (tj. statisticky nahodilá distribuce Al a Si) se vyskytuje u tzv. vysokého sanidinu (*high-sanidine*). Čtyř-četné cykly tetraedrů se napojují navzájem a utváří v rovině (100) vrstvu, v které se vyskytuje rovina zrcadlení m paralelní s rovinou (010) a dvojitá osa paralelní s rovinou (001). Struktura takto vytváří oválné dutiny, které obsazují velké kationty, zejména K^+ , viz obrázek č. 3.3. Celá základní buňka sanidinu je znázorněna na obrázku č. 3.4, kde je vidět jak řetězení tetraedrů, tak dutiny vyplněné kationty. (Putnis (1992))

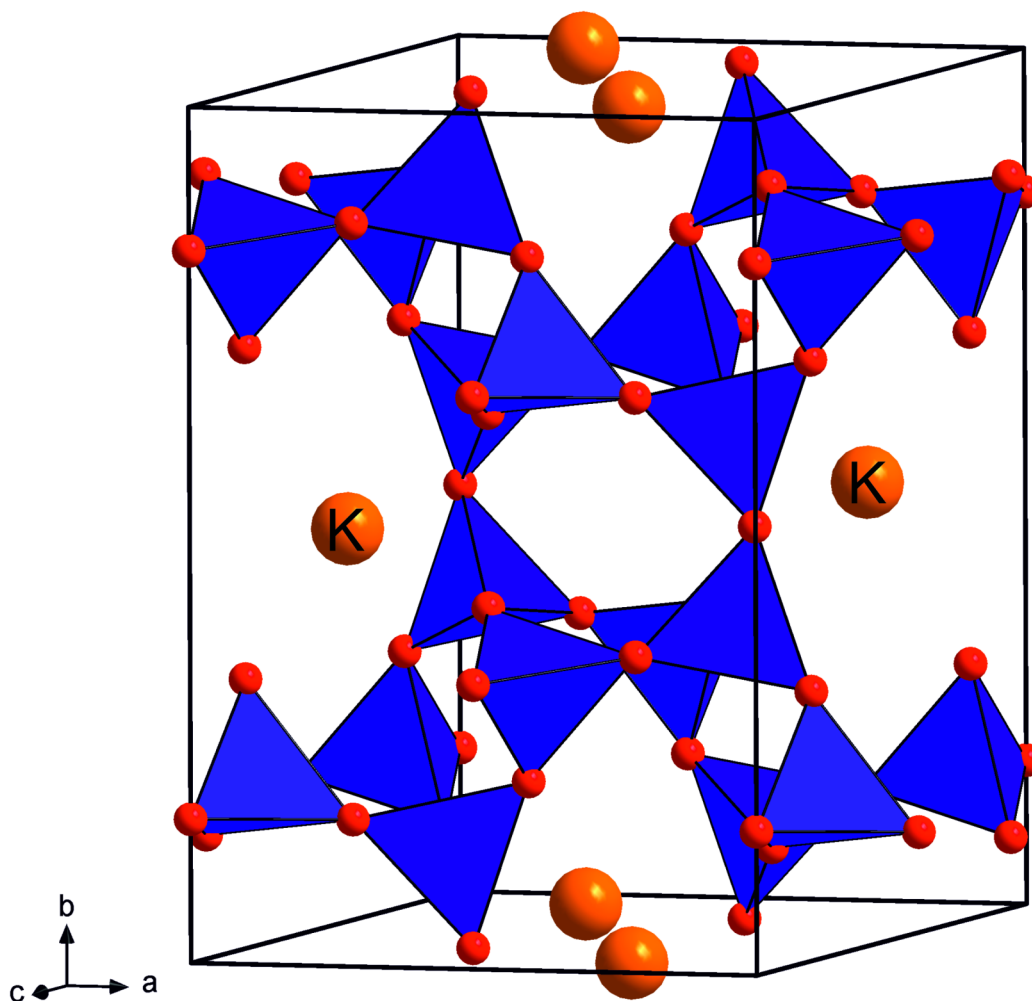


Obrázek 3.2: Část struktury vysokého sanidinu znázorňující čtyř-četný cyklus tetraedrů. Struktura byla znázorněna na základě dat podle Deubener a kol. (1991). Vyznačeny jsou krystalograficky nezávislé pozice T_1 a T_2 .



Obrázek 3.3: Pohled na strukturu vysokého sanidinu v rovině (100). Struktura byla znázorněna na základě dat podle Deubener a kol. (1991). Atomy K^+ obsazují oválné dutiny.

Nejvyšší symetrie, které mohou živce dosahovat, je monoklinická prostorová grupa $C2/m$, při kolapsu mřížky a následném uspořádání Si a Al ve struktuře vlivem poklesu teploty prostředí se symetrie sníží na triklinickou prostorovou grupu $C\bar{1}$. Kolabování mřížky nastává z důvodu difuze atomů Al přednostně do tetraedrické pozice T_1 při poklesu teploty, což naruší statisticky náhodné zastoupení atomů Al a Si. Krystalová mřížka postupně ztrácí monoklinní symetrii, ve struktuře se objevují čtyři krystalograficky odlišné tetraedrické pozice $T_1(0)$, $T_1(m)$, $T_2(0)$ a $T_2(m)$ namísto původních dvou typů pozic T_1 a T_2 . Dochází k uspořádání atomů Al a Si, které přestává být náhodné. Sanidin vzhledem k velkému poloměru svého kationtu K^+ je schopen odolávat kolapsu monoklinické mřížky relativně dlouho oproti živcům obsahující Na. Ke kolapsu mřížky sanidinu a uspořádání Al a Si dochází až při poklesu teploty pod 450°C . Uspořádávání atomů Si a Al



Obrázek 3.4: Základní buňka vysokého sanidinu včetně kationtů K^+ . Struktura byla znázorněna na základě dat podle Deubener a kol. (1991).

je pomalý proces řízený difúzí, během kterého se přerušují vazby v rámci uspořádávání atomů křemíku a hliníku, což je energeticky náročné.

Draselný živec se strukturně dělí na sanidin, ortoklas a mikroklin. Struktura vysokého sanidinu, dle popisu uvedeného výše, má nejvyšší symetrii $C2/m$, kterou ztrácí uspořádáním atomů Al a Si, které bylo do poklesu teploty zcela statisticky náhodné. Draselný živec, který má veškeré své atomy Al na pozici T_1 , ale zároveň si stále udržuje monoklinickou symetrii, se označuje nízký sanidin. Vzhledem k velmi pomalému postupu procesu difuze atomů mezi pozicemi T, tak počátky uspořádávání probíhají v podobě nekomunikujících izolovaných oblastí v rámci vyrostlice. Tyto oblasti s progresivně uspořádávajícími se atomy Al a Si se postupně rozrůstají, až napříč původní vyrostlicí jsou mikro-domény

v odlišných orientacích. Tato podoba draselného živce s částečně uspořádanou distribucí atomů hliníku v rámci lokálních domén se nazývá ortoklas. Označení *Ortoklas* je mimo jiné i pojmenování fáze KAlSi_3O_8 , ale zároveň i pojmenování konkrétního silně uspořádaného monoklinického draselného živce, který je specifický střídavě uspořádanými doménami na vzdálenosti několika základních buněk (tj. uspořádání proběhlo na relativně malé škále). Ortoklas se opticky projevuje jako monoklinický živec, přestože má už lokálně uspořádané domény s triklinickou symetrií $C\bar{1}$. Triklinický draselný živec, v kterém jsou veškeré atomy hliníku koncentrované do pozice $T_1(0)$ se označuje mikroklin. Draselné živce typu sanidin a ortoklas jsou v běžných povrchových podmínkách metastabilní, jedině mikroklin je při těchto podmínkách plně stabilní. (Deer a kol. (2013); Putnis (1992)).

Triklinita Triklinita je specifická veličina pro alkalické živce zavedena Goldsmith a Laves (1954), k popisu stupně uspořádání atomů hliníku a křemíku v rámci tetraedrických krystalografických pozic T. Výpočet hodnoty triklinity je popsán rovnicí

$$\Delta = 12,5 \times (d_{131} - d_{\bar{1}\bar{3}\bar{1}}), \quad (3.1)$$

kde Δ představuje hodnotu triklinity a d_{hkl} jsou mezivírovinné vzdálenosti rovin (131) a ($\bar{1}\bar{3}\bar{1}$) určené z práškové rtg difrakce. Triklinita draselných živců může nabývat hodnot od 0 do 1. Při vyšší symetrii sanidinu v monoklinické prostorové grupě $C2/m$ jsou roviny (131) a ($\bar{1}\bar{3}\bar{1}$) totožné, a hodnota triklinity je nulová. Při snížení symetrie až k triklinickému mikroklinu v prostorové grupě $C\bar{1}$ dochází k maximální separaci těchto reflexí, hodnota triklinity je maximální, tedy rovna jedné. V rámci intervalu hodnot od 0 do 1, triklinita zachycuje celé polymorfní spektrum od monoklinického sanidinu přes monoklinický/triklinický ortoklas až po triklinický mikroklin, a všechny jejich přechodové stupně uspořádávání struktur.

4. Materiál a metodika

4.1 Studované porfyrové žíly a geologie oblasti

Studovaným materiálem byly horniny porfyru pocházející ze tří lokalit západní části Českého Masívu. Lokality byly vybrány z důvodu své dobré přístupnosti k celému profilu porfyrové intruze a svých vysokých obsahů živcových vyrostlic. Kompletní přehled všech tří lokalit, včetně GPS souřadnic, popisu polohy odběru vzorků a přehledu provedených analýz na konkrétních vzorcích je uveden v příloze č. A.1 této práce.

Dolní Nerestce První studovaná intruze se nachází v opuštěném Nerestském lomu, dále pojednáváno jako lokalita *Dolní Nerestce*, a je tvořena biotitickým granitovým porfyrem s výraznými vyrostlicemi draselného živce. Porfyrová intruze protíná čočku krystalického vápence spolu s okolními horninami v podobě ortoruly a grafitických a biotitických břidlic. Zájmovým materiálem dřívější těžby v tomto lomu byl krystalický vápenec, který zde byl těžěn do roku 1926 (Hejtman (1948)). Podle údajů v geologické mapě ČR 1:50 000 z listu 22 23, se intruze porfyru řadí do regionální jednotky středočeského plutonu a okolní horniny do jednotky mirovického ostrova.

Na lokalitě Dolní Nerestce byly odebrány tři vzorky granitového porfyru z čelní lomové stěny, systematickým způsobem vzhledem k umístění v intruzi. První vzorek DN1 byl odebrán ze vzdálenosti 1 m od východního kontaktu žíly. Vzorek DN2 byl odebrán z rozpukaného bloku v centru intruze. Vzorek DN3 byl odebrán z horního kontaktu intruze. Porfyrová intruze při svém horním i východním kontaktu protíná horninu krystalického vápence. Odhadovaná celková mocnost porfyrové intruze v Dolních Nerestcích je v prvních desítkách metrů.

Nihošovice Druhá studovaná intruze se nachází v činném lomu Nihošovice, dále pojednáváno jako lokalita *Nihošovice*, a která je tvořena syenitovým porfyrem obsahující vyrostlice draselného živce s makroskopicky výraznou zonalitou. K porfyrové intruzi se na lokalitě přidružuje tenká žíla vaugneritu, a obě protínají okolní horniny tvořené pararulami, migmatity a leukokrátním granitem (Kubínová (2019)). Podle údajů v geologické mapě ČR 1:50 000 z listu 22 34 a podle disertační práce Kubínová (2019), se syenitová

porfyrová intruze řadí do regionální jednotky západního moldanubického plutonu a okolní horniny do jednotky monotónní skupiny moldanubika.

Z intruze syenitového porfyru na lokalitě Nihošovice byly odebrány čtyři vzorky, tak aby zachycovaly reprezentativní oblasti napříč profilem. Vzorky byly odebírány z druhé etáže činného lomu přímo z lomové stěny. Vzorek N2 pochází z jižního kontaktu porfyrové žíly, vzorek N1 byl odebrán ze středu odkryté části intruze, vzorek N4 byl odebrán ze vzdálenosti 3,7 m od severního kontaktu a vzorek N3 pochází ze vzdálenosti 1,5 m od severního kontaktu. Vzorkovaný profil měl mocnost cca 20 m, ale odhadovaná celková mocnost žíly podle Orságová (2010) je 60 m.

Pohorsko Poslední studovaná intruze se nachází v opuštěném zčásti zatopeném Pohorském lomu, a je tvořena dioritovým porfyrem obsahujícím vyrostlice plagioklasů. Žíla v lomové stěně intruduje do muskovitického leukokrátního granitu moldanubické jednotky. Další okolní horniny krystalinika obemykající žílu dioritového porfyru jsou pararuly, migmatity a ortoruly (Babůrek J. a kol. (2001)).

Vzorky dioritového porfyru byly opět odebírány systematicky z lomové stěny napříč intruzí. Vzorek P2 byl odebrán ze vzdálenosti 5 cm od JJV kontaktu intruze, vzorek P1 byl odebrán ze vzdálenosti 70 cm od JJV kontaktu, a vzorek P3 byl odebrán ze střední části intruze vzdálené 58 m od JJV kontaktu. Výjimkou v systematické odběru byl vzorek P4, který byl získán ze suří, pravděpodobně pocházející ze středové části intruze. Odhadovaná celková mocnost porfyrové intruze pohorského porfyru je v řádech desítkách metrů.

4.2 Kvantitativní texturní analýza

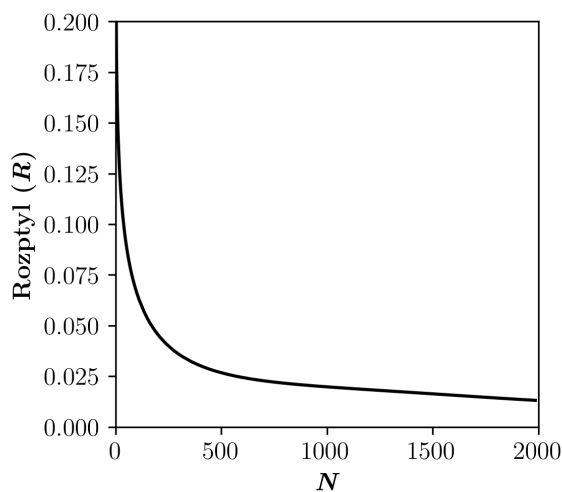
Vzorky odebrané na lokalitách Dolní Nerestce, Nihošovice a Pohorsko byly rozřezány na pile se servo-pojezdem způsobem, aby byla vytěžena vždy největší možná plocha na vzorku. Výjimkou byl vzorek N4, který byl rozřezán podél tří navzájem kolmých rovin. Metoda kvantitativní texturní analýzy předpokládá, že libovolný řez s dostatečným množstvím zrn je reprezentativní. Získané kolmé plochy vzorku N4, respektive označené vzorky N4_A, N4_B a N4_C, zároveň slouží jako kontrola této metody a jejího předpokladu.

Získané plochy vzorků byly naskenovány na stolním skeneru v rozlišení 600 DPI. Následně byla od každého řezu vybrána jedna plocha k dalšímu digitálnímu zpracování. Pro vzorek N2 byly vybrány obě strany téhož řezu, označené N2_A1 a N2_A2, jelikož byl mezi nimi zaznamenán největší makroskopický rozdíl ve výskytu vyrostlic v rámci jednoho řezu. Živcové vyrostlice na digitalizovaných plochách byly ručně konturovány v běžném grafickém softwaru pomocí grafického tabletu. Získané kontury a jejich výplně byly převedeny do bitmap, a dále zpracované v převzatém kódu podle Špillar a Dolejš (2014).

Výstupem převzatého kódu jsou parametry popisující jednotlivé vyrostlice — například poloha středu a velikost plochy vyrostlice, počet kontaktních sousedů vyrostlice Nb , a několik možných aproximací velikosti vyrostlice L . Určení velikosti vyrostlice pomocí L_{CEq} udává průměr kruhu o odpovídající ploše vyrostlice, proto je tato velikost nejvíce stabilní vůči fluktuacím. L_{MFe_r} stanovuje velikost vyrostlice podle maximální Feretovské délky, respektive maximální vzdálenosti, kterou lze protínat zrno. Maximální Feretovská délka je však citlivá na tvary daných zrn. Velikost vyrostlice podle L_{RectA} a L_{RectB} je určena podle nejtěsněji fitovaného obdélníku vně zrna, přičemž L_{RectA} je velikost podél delší strany obdélníku a L_{RectB} je velikost podél jeho kratší strany. Dalším parametrem je úhel ξ popisující úhel, který svírá osa vyrostlice určena podle L_{RectA} s matematickou horizontálou. Pomocí výše uvedených parametrů následně byly dále vypočítány veličiny kvantitativní texturní analýzy (detailně popsané v kapitole č. 2.1) zahrnující krystalinitu φ , shlukovací index R , spojitý histogram distribuce velikostí zrn (CSD), charakteristická velikost zrna L_{ch} a statistické analýzy jednotlivých parametrů. Výpočty probíhaly ve vlastních kódech psaných v jazycích *R* a *Python*. Před provedením konkrétních výpočtů byla hrubá data přefiltrována podle limitní velikosti zrna. Hranice velikostí byla určena podle vizuální rozlišitelnosti během konturování vyrostlic a byla stanovena individuálně pro každou lokalitu. Limitní velikost zrna pro lokalitu Dolní Nerestce byla stanovena na 0,5 mm, pro lokalitu Nihošovice na 0,5 mm, a pro lokalitu Pohorsko na 0,7 mm.

Hodnota krystalinity φ je zkreslená využitím pouze vyrostlic živců k jejímu určení, jelikož je ale takto určena u všech vzorků stejně, lze ji považovat za relativní veličinu k vzájemnému porovnání vzorků mezi sebou. Do výpočtu shlukovacího indexu R byla zahrnuta Donnellyho empirická korekce (Donnelly (1978)), která potlačuje vliv okraje plochy na data. V grafu R/φ byly zavedeny chybové úsečky na základě kalkulací rozptylu hod-

not shlukovacího indexu R podle Jerram a kol. (1996), kde stanovují závislost rozptylu na velikosti populace náhodných bodů (viz obrázek č. 4.1). Výpočet populační hustoty n byl normalizován z hodnoty získané v 2D prostoru (plocha řezu vzorku) na hodnotu 3D prostoru matematickou rozměrovou konverzí podle Wäger korekce, která je dostačující pro účely porovnání vzorků mezi sebou. Graf distribuce velikostí zrn (CSD) má na y-ose uvedenou populační hustotu n v logaritmické škále a na x-ose biny spojitého histogramu, které se exponenciálně rozšiřují, což dovozuje snížit statistické fluktuace výskytu větších velikostí zrn způsobené jejich nižší četností. Charakteristická velikost zrna L_{ch} byla vypočítána ze sklonu přímky fitované metodou nejmenších čtverců na lineární část křivky spojitého histogramu distribuce velikostí zrn (CSD). Z důvodu konkávních a konvexních částí reálných křivek CSD byla pro kalkulaci fitu vybrána vždy pouze jejich převažující lineární část. Jelikož všechny linie CSD neměly dostatečně dlouhou část lineárního průběhu, aby se dal hodnotně kalkulovat fit přímky, některé vzorky nemají uvedenou charakteristickou velikost pro vyrostlice živců. Směrodatná odchylka charakteristické velikosti vyrostlice $\sigma(L_{ch})$ byla určena na základě nejistoty fitu.



Obrázek 4.1: Rozptyl hodnot shlukovacího indexu R v závislosti na velikosti populace náhodných bodů N , hodnoty podle Jerram a kol. (1996).

4.3 Prášková rentgenová difrakce

Prášková rentgenová difrakční data byla pořízena na práškovém RTG difraktometru Bruker D8 Advance (laboratoř České geologické služby, Praha) v Bragg-Brentanově uspo-

řádání. Separovaný živec vzorku N4 (lokalita Nihošovice) v práškové podobě byl umístěn na podložku (plnicí funkci nosiče vzorku) z tzv. bez-difrakčního křemíku (*zero-background silicon sample holder*). Data byla pořízena s kobaltovou RTG lampou, v úhlovém rozsahu od 4° do $80^\circ 2\theta$ s krokem $0,015^\circ$ a s načítacím časem 1,2 sec na krok. K detekci rentgenového záření byl použit pozičně citlivý detektor LynxEye XE. Monochromatizace svazku byla provedena pomocí energeticky disperzní funkce detektoru a sekundárního beta filtru. Rentgenovou difrakční analýzu provedl RNDr. F. Laufek, Ph.D. ve spolupráci s diplomantkou.

Odběry vzorků živce pro rentgenovou difrakční analýzu byly provedeny dvojitým způsobem. První způsob odběru vzorku byl proveden z plochy o velikosti cca 15×10 cm z makroskopických vzorků, které byly rozříznuté na pile se servo-pojezdem v rámci přípravy vzorků na kvantitativní texturní analýzy, a tudíž byl povrch plochy hladký a dobře čitelný. Vlastní odběr vzorku byl proveden na hladké ploše vzorku pomocí mikrovrtáčky Dremel 300 s mikrovrtáčkem o průměru cca 1 mm. Vrtání bylo prováděno s lubrikantem v podobě destilované vody. Vzniklá suspenze byla odebrána pomocí mikropipety a nanesena na bez-difrakční křemík. Tento způsob odběru vzorků umožnil prostorové rozlišení odběru ve vzorku, dovolující odebírat materiál konkrétně ze středu nebo okraje živcových vyrostlic.

Druhý způsob odběru vzorku byl proveden z odřezků nábrusů připravovaných pro další analytické práce na elektronovém mikroanalyzátoru. Část vzorku, makroskopicky odpovídající draselnému živci, byla mechanicky vyseparována pomocí malého chirurgického dláta (značka Medin). Odebraný vzorek byl následně standardním postupem pulverizován v achátové misce v suspenzi ethanolu a následně přenesen na bez-difrakční křemík.

Kvalitativní fázová analýza vzorků byla provedena pomocí programu HighScore (Degen a kol. (2014)) a práškové difrakční databáze ICDD PDF2 2022 (Gates-Rector a Blanton (2019)). Následná semikvantitativní fázová analýza byla provedena pomocí Rietveldovy metody v programu Topas 5 (Bruker (2014)). Strukturní modely identifikovaných minerálů (mikroclin v prostorové grupě $C\bar{1}$, albit, křemen, biotit, klinochlor) byly převzaty z databáze krystalových struktur ICSD 2024 (Hellenbrandt (2004)). Zpřesněny byly škálovací faktory, mřížkové parametry a parametry popisující velikost koherentně difraktující-

cích domén a mikropnutí (*isotropic strain*). Byla použita korekce na přednostní orientaci u živců a biotitu. Vyhodnocení RTG difrakčních dat provedl RNDr. F. Laufek, Ph.D. ve spolupráci s diplomantkou.

4.4 Mikroanalytické metody

Na mikroanalytické metody bylo vybráno pět vzorků napříč lokalitami, které měly největší potenciál na dobře viditelnou zonalitu živcových vyrostlic. Z vybraných vzorků byly vypracované leštěné nábrusy. Nejprve probíhalo umenšení vzorků pouze na zájmové vyrostlice, poté následovalo broušení vzorků na skleněné desce pomocí brusných past z karbidu křemíku o hrubostech F320, F600, F800, F1000, F1200 a F1500. Následně byly výbrusy leštěny na mikro-textilním kolečku s brusivem z oxidu hlinitého o hrubosti 1 μm . Pro finální úpravu povrchu nábrusů k měření byly vzorky napařené vrstvičkou uhlíku.

Leštěné nábrusy byly analyzovány elektronovým mikroanalyzátozem JEOL JXA-8530F se Schottkyho katodou (laboratoř Ústavu petrologie a strukturní geologie, PŘF UK, Praha). Z instrumentální výbavy elektronového mikroanalyzátoru byly využity detektory sekundárních elektronů (SE) a zpětně odražených elektronů (BSE), energiově disperzní spektrometr (EDS), a vlnově disperzní spektrometr (WDS). Analýzy se zaměřovaly na zonalitu živcových vyrostlic. Byly pořízené snímky pomocí zpětně odražených elektronů a sekundárních elektronů. Probíhaly orientační EDS analýzy na určení neznámých inkluzí uzavřených ve vyrostlicích živců. Na vybraných vyrostlicích byly od středu k okraji vytyčené profily napříč zonalitou, podél kterých probíhaly bodové analýzy WDS. Jeden profil se skládal z 10 až 30 bodů s ohledem na velikost vyrostlice, a které byly zvoleny tak, aby analýzy neprobíhaly na místech s poškozením, inkluzí nebo odmíšeninou. Z důvodu přítomnosti alkálií v zájmových objektech bylo zvoleno rozostření svazku na 5 μm na bodové analýzy WDS. Urychlovací napětí svazku pro měření bylo 15 kV a proud svazku 15 nA. Průměrný čas detekce píku byl 20 sec a průměrný čas detekce pozadí byl 10 sec. Pro analýzy byly použity standardy přírodních minerálů.

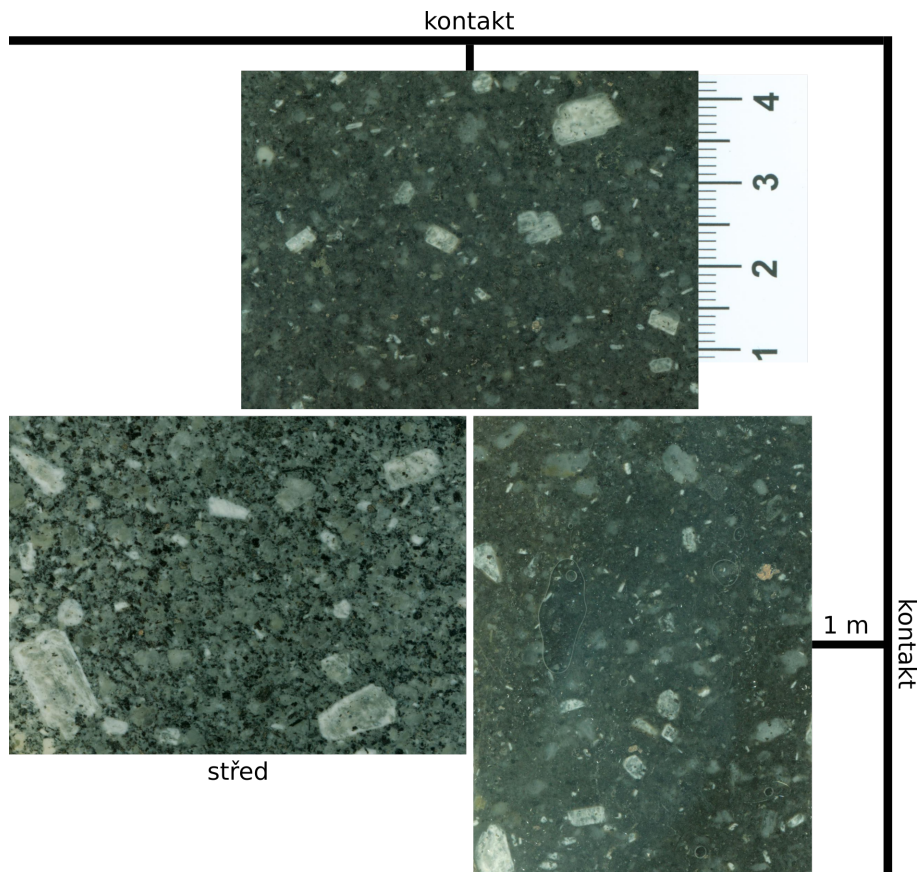
5. Výsledky

5.1 Petrografický popis

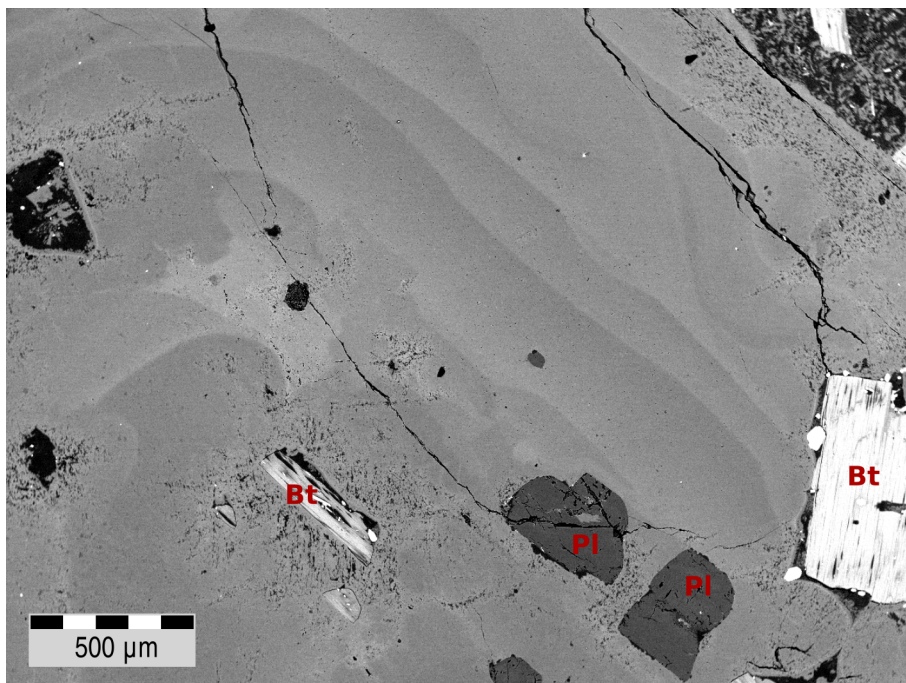
Vzorky odebrané ze tří lokalit porfyrových intruzí, Dolních Nerestců, Nihošovic a Pohorska, byly prohlíženy makroskopicky, pomocí zpětně odražených elektronů (BSE) a kvantitativně. Posuzovaly se hlavní rysy a zrnitosti vzorků s ohledem na jejich polohu v intruzi a konkrétní lokalitu.

Dolní Nerestce Porfyr z Dolních Nerestců je poměrně tmavý s jasně viditelnými porfyrickými vyrostlicemi živců. Vzorky DN1 a DN3 z těšné blízkosti okraje intruze, mají velice jemnozrnnou až celistvou základní hmotu. Vzorek DN2 ze středu intruze má světlější zbarvení a více vyvinutou hrubozrnnější základní hmotu. Obrázek č. 5.1 znázorňuje přehled zrnitostí napříč porfyrovou žilou v Dolních Nerestcích. Z makroskopického pohledu jsou vyrostlice živců abnormálně čiré až průhledné, některé obsahují oblasti s bělavým zakalením nejčastěji podél okrajů. Ve větších vyrostlicích jsou vidět i makroskopicky drobné černé inkluze, pravděpodobně biotitu. Ve vzorcích je přítomný i značný počet drobnějších živcových vyrostlic.

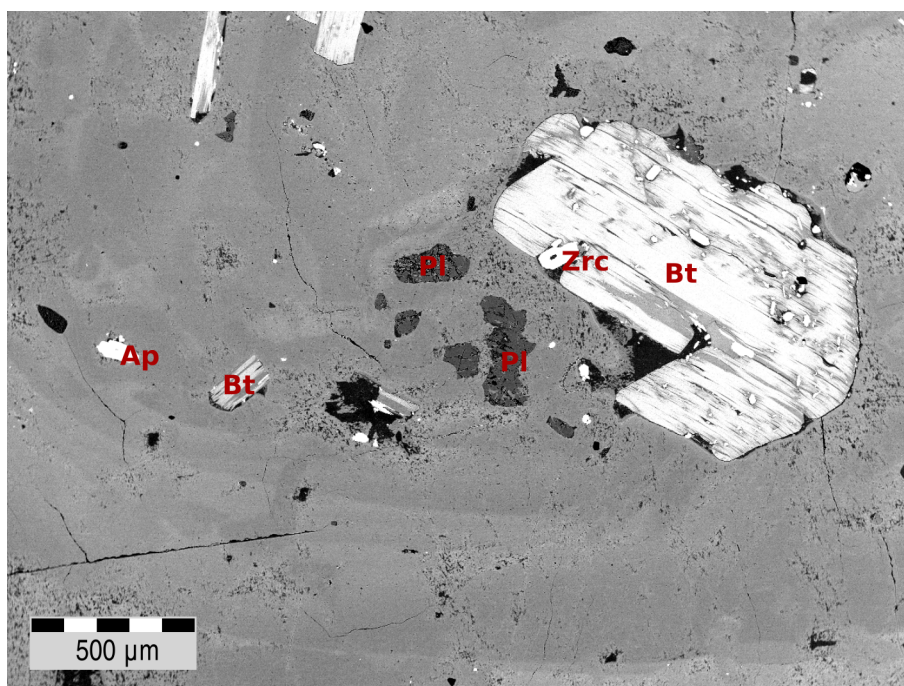
Snímky ze zpětně odražených elektronů se zaměřují zejména na živcové vyrostlice, jsou v nich vidět již zmiňované inkluze a značně vyvinuté zonality, které mají zaoblené hrany a výrazný gradient světlosti. Šířka zonality je značně variabilní i v rámci jednoho pásu, což je dobře zachyceno na obrázku č. 5.2. Živcové vyrostlice z Dolních Nerestců jsou typické nízkou přítomností odmíšenin. Ve vyrostlicích odmíšeniny nesledují zonálnost, utvářejí pouze menší ložiska výskytu, které se v některých případech shlukují v blízkosti inkluzí. Odmíšeniny též utváří poměrně tenký pás lemující většinu obvodu vyrostlice. V živcových vyrostlicích jsou přítomné inkluze biotitu s vlastními inkluzemi apatitu nebo vzácněji i zirkonu. Dalšími inkluzemi jsou menší plagioklasy a apatity. Reprezentativní příklad inkluzí uvnitř živcové vyrostlice je uveden na obrázku č. 5.3.



Obrázek 5.1: Průřez vzorků a jejich zrnitostí napříč intruzí porfyru v Dolních Nerestcích, kde měla intruze odkryté boční i stropní kontakty.



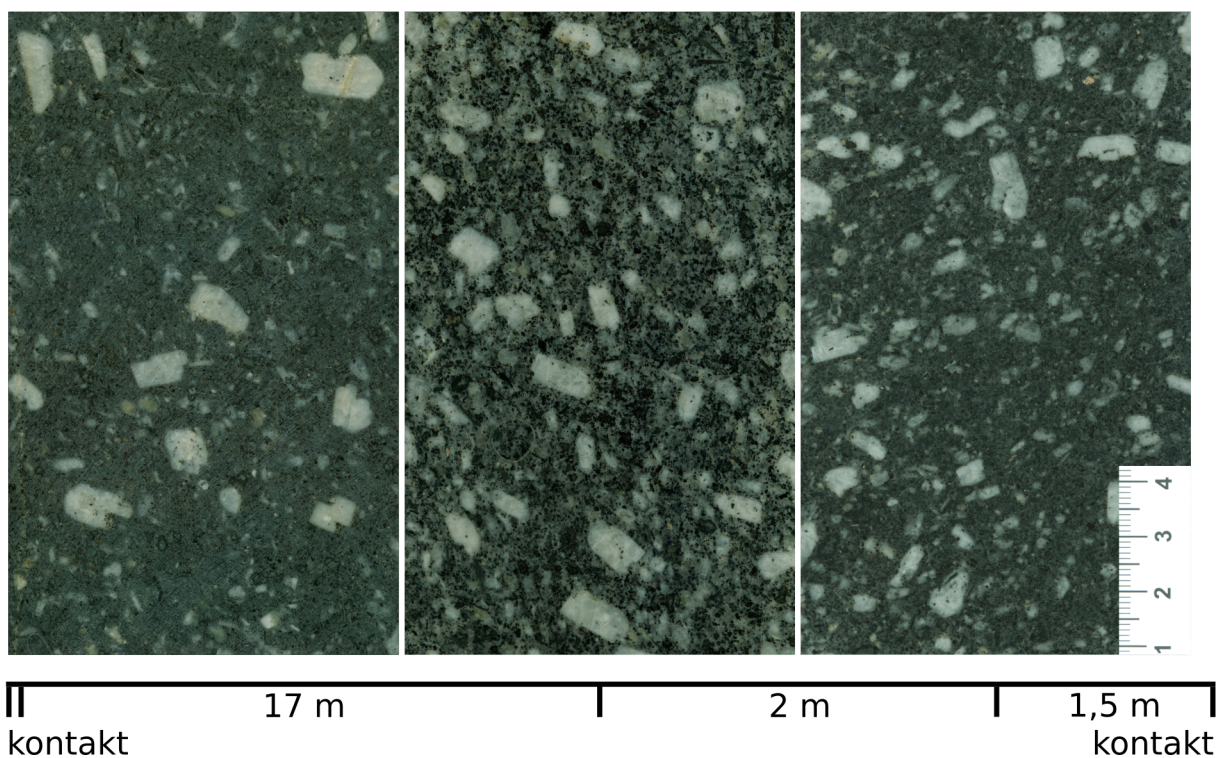
Obrázek 5.2: Zonalita živcové vyrostlice ve vzorku DN1 z Dolních Nerestců.



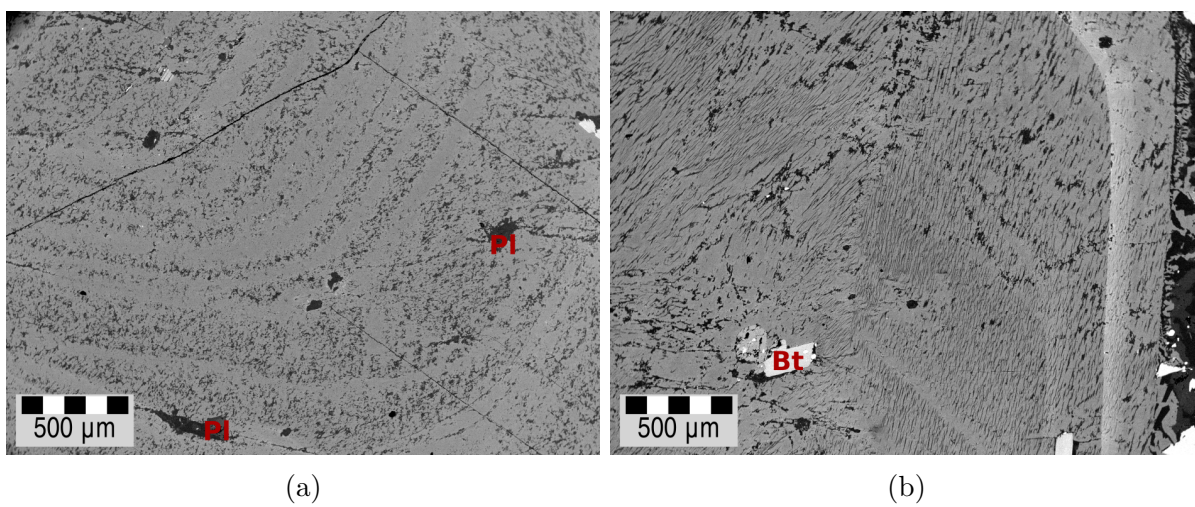
Obrázek 5.3: Rozmanitost inkluzí uvnitř živcové vyrostlice ve vzorku DN1 z Dolních Nerestců.

Nihošovice Porfyr z Nihošovic má z makroskopického pohledu větší množství porfyrických vyrostlic živců než porfyr z Dolních Nerestců. Základní hmota je u okraje intruze, například u vzorku N2, jemnozrnnější a ve středu intruze výrazně hrubozrnnější — nejvíce hrubozrnná základní hmota byla pozorována na vzorcích N1 a N4 z centra intruze. Z makroskopického pohledu nemají velké vyrostlice živců rovnoměrné rozložení ve vzorku, to lze pozorovat i na obrázku č. 5.4, který zachycuje reprezentativní vzorky napříč intruzí v Nihošovicích. Živce v Nihošovicích jsou typické svou silnou zonalitou, která je vidět již makroskopicky i na neupravených hrubých vzorcích.

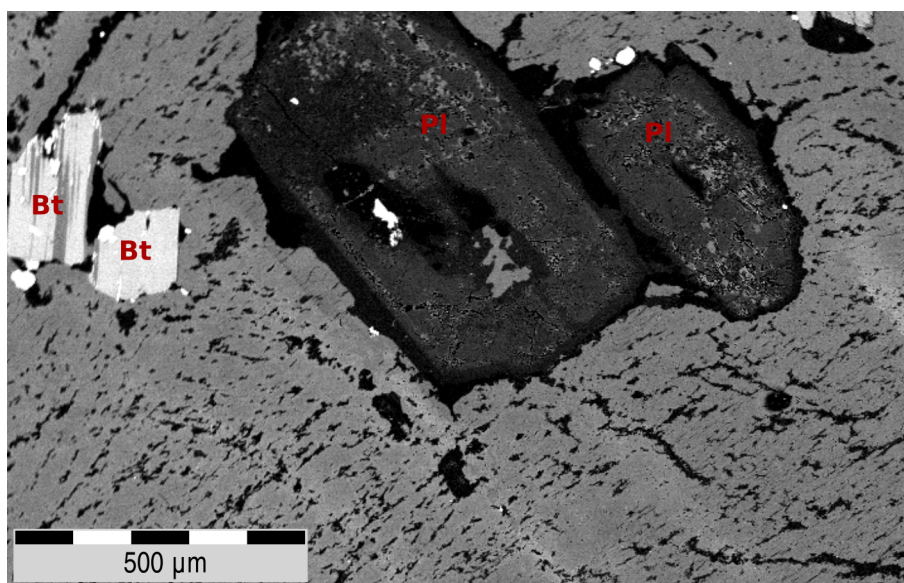
Snímky ze zpětně odražených elektronů (BSE) potvrzují makroskopicky pozorovanou zonalitu, jedná se o střídající se pásy pertitických odměšenin a čistého živce. Zonalita je tvořena dvěma morfologickými typy tvarů odměšenin, které se vyskytují jak odděleně tak i smíšeně. Maximální morfologický rozdíl pertitických zonalit je znázorněn na obrázku č. 5.5. Některé pozorované výskyty odměšenin se neuspořádávají do zonalit, ale tvoří shluky, které protínají již přítomnou zonalitu. V případě protínání zonality tvořené pertitickými odměšeninami, se tyto méně uspořádané odměšeniny chovají dominantně. Vyrostlice živců z Nihošovic též uzavírají inkluze tvořené hlavně plagioklasem a biotitem, v menší míře i křemenem a ojediněle apatitem. Na obrázku č. 5.6 je zachycen příklad typických inkluzí v živcové vyrostlici.



Obrázek 5.4: Průřez vzorků a jejich zrnitostí napříč intruzí porfyru v Nihošovicích.



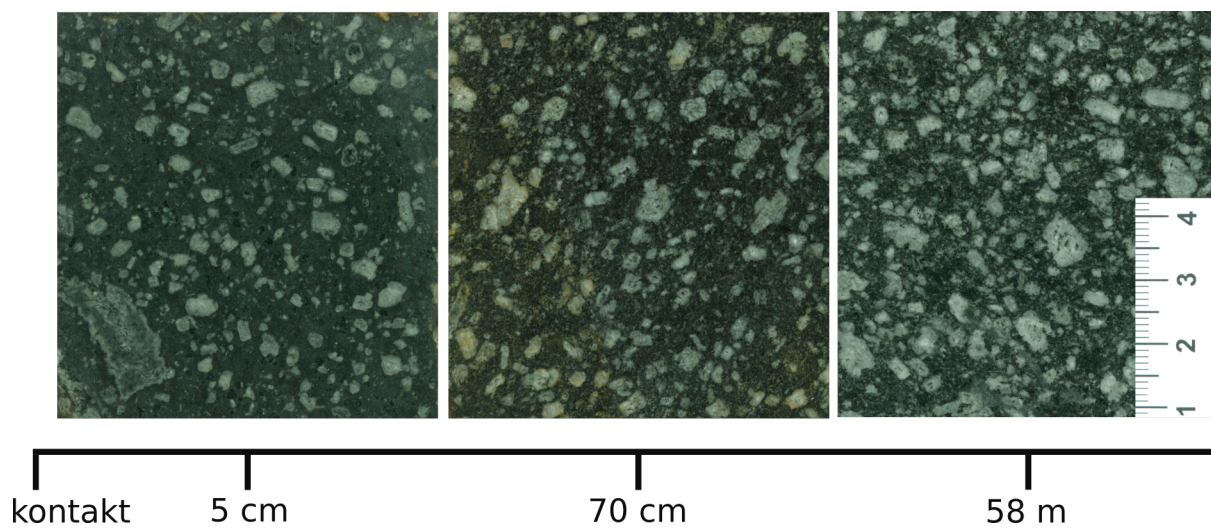
Obrázek 5.5: Porovnání pertitických zonalit vyrostlic živeců z Nihošovic: a) je vyrostlice vzorku N3 a b) je vyrostlice vzorku N4.



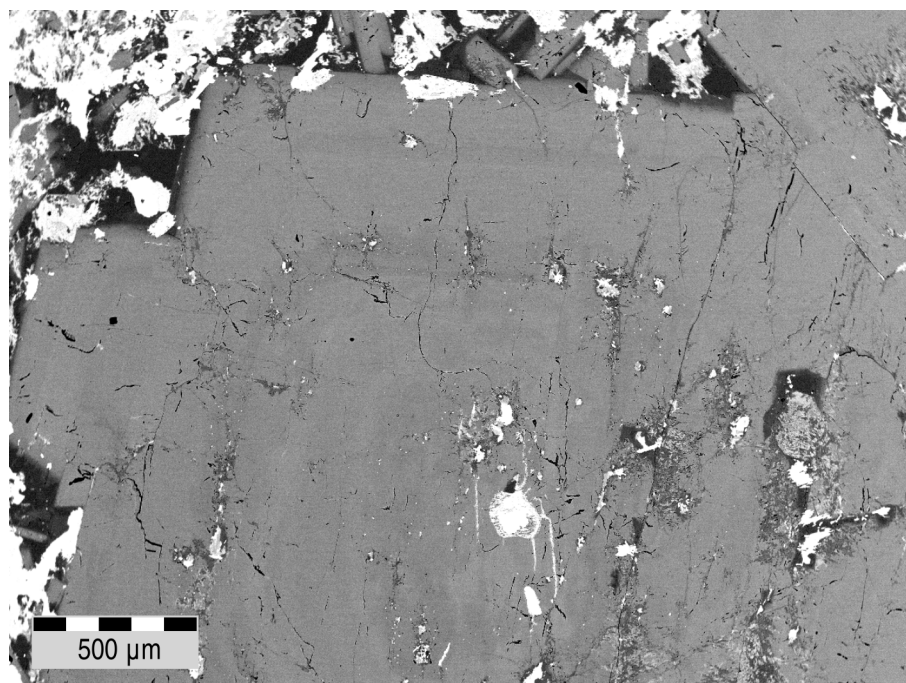
Obrázek 5.6: Inkluze v živcové vyrostlici ve vzorku N4 z Nihošovic.

Pohorsko Žíla porfyru na lokalitě Pohorsko obsahuje živcové vyrostlice, které se makroskopicky jeví více izometricky než vyrostlice na předchozích dvou lokalitách. U značné části vyrostlic lze pozorovat vyplněný střed tmavou hmotou. Vzorek P2 z úplného okraje intruze má velmi jemnozrnnou až sklovitou základní hmotu. Vzorek P1 z větší vzdálenosti od kontaktu, ale stále v okrajové části intruze, má mírně hrubozrnnější základní hmotu oproti vzorku P2, ale stále relativně drobnozrnnou. Vzorek P3 ze středové části intruze má nejhrubozrnnější základní hmotu. Přehled zrnitostí i nahromadění obsahu vyrostlic je znázorněno na obrázku č. 5.7, kde je vidět, že obojí makroskopicky graduje směrem do středu intruze. V porfyru se vyskytují pohlcené xenolity, které mají vysoký stupeň otavení a pokročilé reakční lemy, příklad je vidět na obrázku č. 5.7 na levém vzorku v jeho levém dolním rohu.

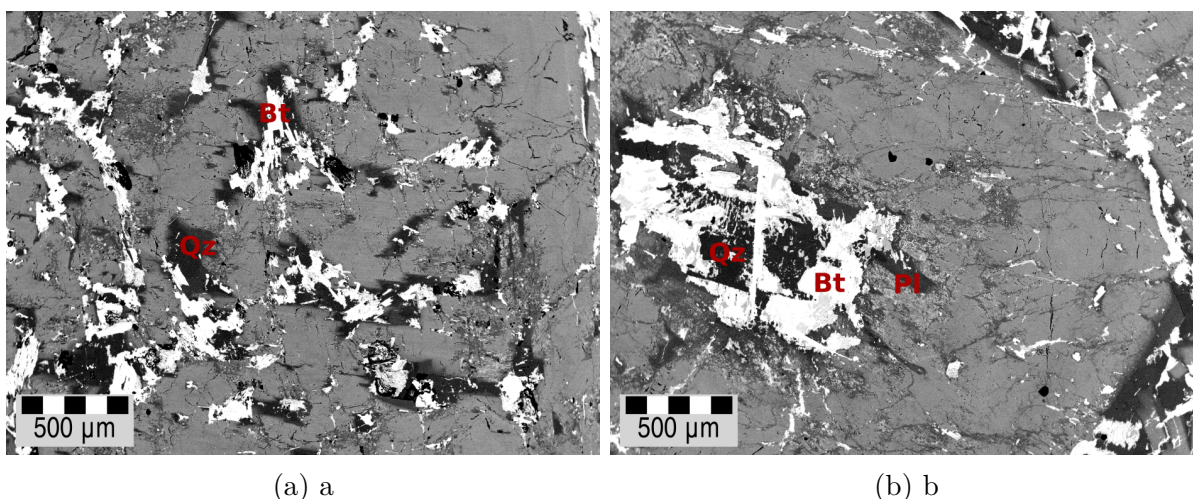
Vyrostlice živců z porfyřů z Pohorska mají ve snímcích ze zpětně odražených elektronů (BSE) rozpoznatelnou zonalitu, která je slabě viditelná. Reprezentativní příklad zonality je na obrázku č. 5.8. Živcové vyrostlice jsou poměrně popraskané a neobsahují odmíšeniny, ani pertitickou zonalitu. Jejich středy jsou zčásti nebo zcela zaplněné neuspořádanou směsí biotitu, křemene, drobných plagioklasů a dalších slíd. Na obrázku č. 5.9 jsou zachycené příklady postižených středů vyrostlic ze vzorků P1 a P3.



Obrázek 5.7: Průřez vzorků a jejich zrnitostí napříč intruzí porfyru v Pohorsku.



Obrázek 5.8: Zonalita plagioklasové vyrostlice ve vzorku P3 z Pohorska.

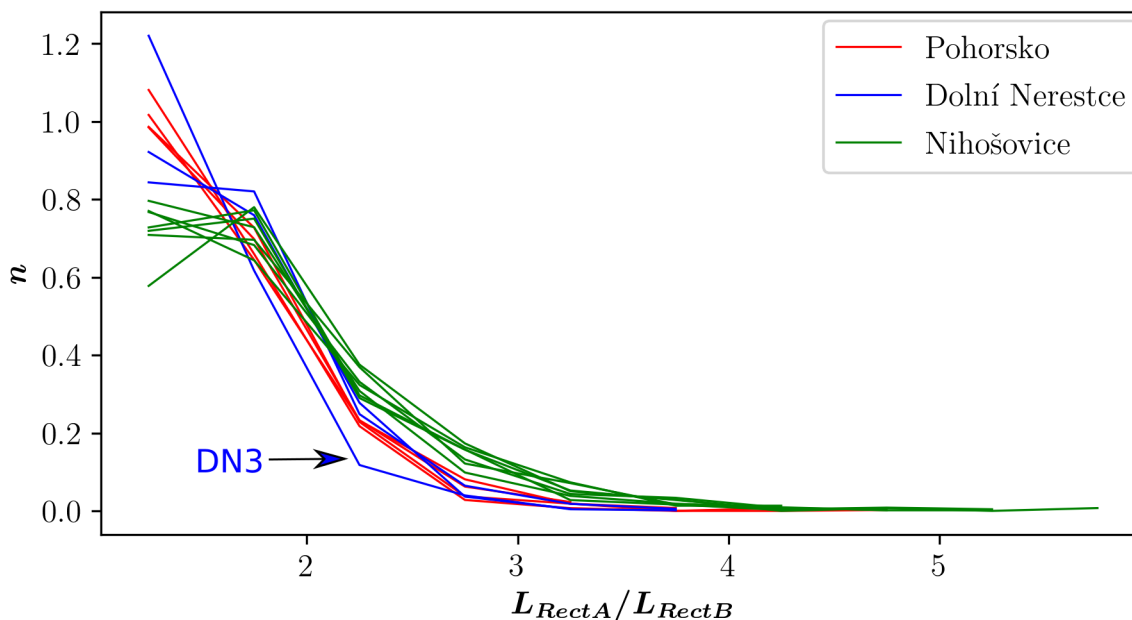


Obrázek 5.9: Výplň středu vyrostlice: a) je vyrostlice vzorku P1, která má jen částečné vyplnění a b) je vyrostlice vzorku P3, jejíž střed je zcela zaplněn. Lokalita Pohorsko.

5.2 Kvantitativní texturní analýza

Texturní data jsou čerpaná ze živcové fáze vzorků. U lokalit Dolní Nerestce a Nihošovice je živcová fáze tvořena vyrostlicemi draselných živců a pro lokalitu Pohorsko se v případě živcové fáze jedná o plagioklasy. Celkové porovnání odlišných aproximací pro velikost vyrostlic L napříč lokalitami dokládá, že odlišné přístupy zjištění tohoto parametru empiricky jsou dostatečně podobné na vyvozování hlavních vztahů vzorků mezi sebou, pokud se vždy budou pouze srovnávat výsledky dané totožnou aproximací. V příloze č. A.2 této práce jsou uvedeny grafy CSD pro každou lokalitu se všemi aproximacemi velikosti vyrostlic L využitých pro následné výsledky, respektive L_{CEq} , L_{MFe} , L_{RectA} a L_{RectB} . Na porovnání těchto grafů je zřejmý vliv tvaru živcové vyrostlice, která je typicky protažená a ve větší části řezů se i s tímto přednostním protažením zachycuje. Při využití například L_{MFe} nebo L_{RectA} dosahují vyrostlice pomyslně větších velikostí než u L_{CEq} , která se projevuje více konzistentně s ohledem na různotvaré minerály. V grafu poměru L_{RectA}/L_{RectB} na obrázku č. 5.10 jsou porovnány přednostní tvary vyrostlic všech tří lokalit. Vyrostlice draselného živce z Nihošovic mají největší poměr stran, respektive jsou pomyslně nejvíce protáhlé. Zároveň mají také největší velikosti vyrostlic, což může vzhledem k habitu krystalu draselného živce souviset i s výsledným vyšším poměrem stran vyrostlice. Přesto mají dle grafu poměru L_{RectA}/L_{RectB} relativně konzistentní tvary napříč vzorky. Záznam draselných živců z Dolních Nerestců má nejmenší tvarovou konzistenci v grafu poměru L_{RectA}/L_{RectB} , podlouhlost vyrostlic má mírně nižší než živce z Nihošovic.

V grafu je znatelné odchýlení vzorku DN3 z Dolních Nerestců, které má na lokalitu abnormálně izometrická zrna, což se může vysvětlit nejmenším mediánem velikosti vyrostlic ze všech lokalit. Plagioklasové vyrostlice z Pohorska mají dle grafu poměru L_{RectA}/L_{RectB} nejkonzistentnější tvary a nejvíce izometrické vyrostlice.



Obrázek 5.10: Poměr velikostí L_{RectA}/L_{RectB} , který charakterizuje tvar vyrostlic a n je populační hustota.

Dolní Nerestce Souhrn dat kvantitativní texturní analýzy pro porfyrové vzorky z lokality Dolní Nerestce je uveden v tabulce č. 5.1 a jeho statistická hodnocení jsou uvedena v tabulce č. 5.2. Krystalinity φ vzorků této lokality se pohybují od 15 obj.% do 21 obj.%, a mediány velikosti vyrostlice L_{CEq} nabývají hodnot od 0,790 do 1,092 mm. Vzorek DN3 z horního kontaktu žíly má nejmenší krystalinitu φ a také nejmenší medián velikosti vyrostlice. Charakteristická velikost vyrostlic L_{ch} nebyla na tomto vzorku kalkulována, jelikož je jeho CSD křivka příliš konvexní a neumožňuje lineární fitování přímkou. Stále je však vidět, že je CSD vzorku DN3 velmi strmá, tudíž by jeho potenciační charakteristická velikost L_{ch} byla nejmenší ze vzorků Dolních Nerestců. Vzorek DN1 ze vzdálenosti 1 m od bočního kontaktu žíly má mírně vyšší hodnoty krystalinity φ a mediánu velikosti vyrostlice než předešlý vzorek DN3, i když stále velmi podobné. Vzorek DN2 má z těchto tří vzorků nejvyšší krystalinitu φ , medián velikosti vyrostlice i charakteristickou velikost vyrostlice L_{ch} . Podle mediánu počtu kontaktních sousedů

mají vzorky spíše samostatné vyrostlice bez styku s ostatními, a v případech výskytu dotýkajících se vyrostlic, se nejčastěji jedná o dvojici vyrostlic.

Tabulka 5.1: Přehled kvantitativních texturních dat z lokality Dolní Nerestce (S = studovaná plocha, N = počet zrn, φ = krystalinita, R = shlukovací index, $v(R)$ = rozptyl hodnot shlukovacího indexu, $\tilde{\chi}(L_{CEq})$ = medián hodnot velikosti).

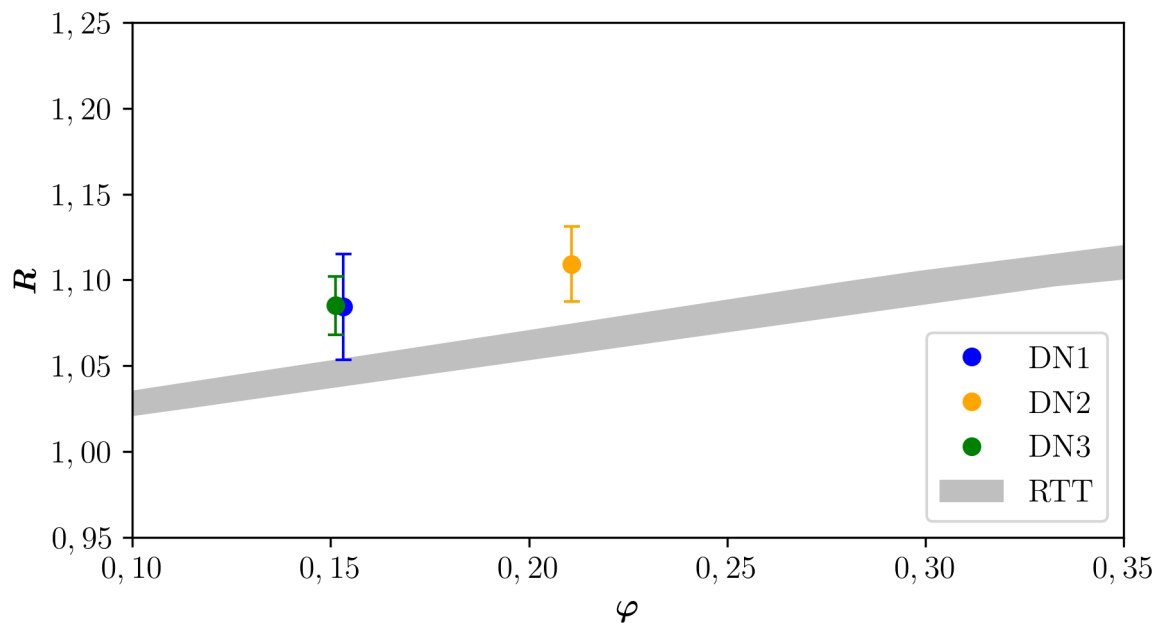
Vzorek	S [cm ²]	N	φ	R	$v(R)$	$\tilde{\chi}(L_{CEq})$ [mm]
DN1	24	382	0,153	1,084	0,031	0,814
DN2	57	773	0,211	1,109	0,022	1,092
DN3	69	1410	0,151	1,085	0,017	0,790

Tabulka 5.2: Statistika kvantitativních texturních dat z lokality Dolní Nerestce (L_{ch} = charakteristická velikost, $\sigma(L_{ch})$ = směrodatná odchylka hodnot charakteristické velikosti, $\bar{\chi}(Nb)$ = aritmetický průměr počtu kontaktních sousedů, $\tilde{\chi}(Nb)$ = medián počtu kontaktních sousedů, $\bar{\chi}(Nb \geq 1)$ = aritmetický průměr počtu kontaktních sousedů, kterých je jeden a více, $\tilde{\chi}(Nb \geq 1)$ = medián počtu kontaktních sousedů, kterých je jeden a více).

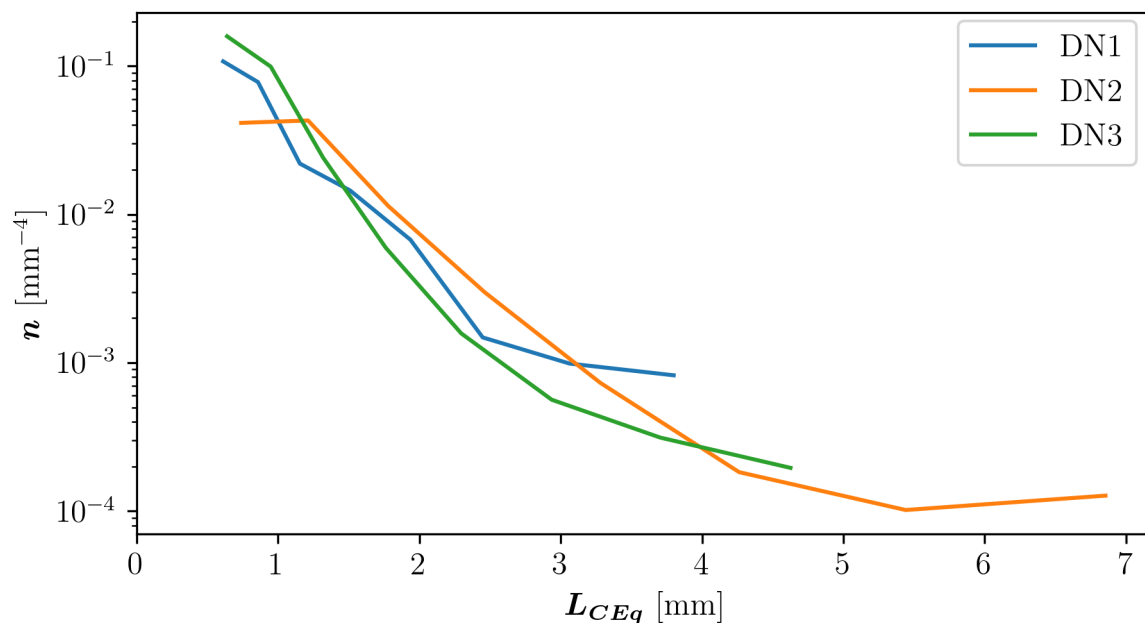
Vzorek	L_{ch} [mm]	$\sigma(L_{ch})$	$\bar{\chi}(Nb)$	$\tilde{\chi}(Nb)$	$\bar{\chi}(Nb \geq 1)$	$\tilde{\chi}(Nb \geq 1)$
DN1	0,438	0,031	0,497	0	1,275	1
DN2	0,548	0,021	0,596	0	1,263	1
DN3	-	-	0,642	0	1,329	1

V grafu poměru R/φ na obrázku č. 5.11 se vzorky nachází nad polem náhodného rozmístění (RTT) a mají velmi malá rozpětí hodnot shlukovacího indexu R od 1,084 do 1,109. Vzorky DN1 a DN3 jsou ze dvou různých míst na lokalitě, ale oba pochází z okraje intruze, a oba mají i obdobné charakteristiky v grafu R/φ . Vzorek DN2 ze středové části intruze, se od předešlých okrajových vzorků mírně v grafu R/φ separuje a má lehce větší hodnotu krystalinity φ .

Křivky distribuce velikosti zrn (CSD) porfyrů z Dolních Nerestců na obrázku č. 5.12 mají nejvíce konvexní průběh ze všech tří lokalit. Vzorek DN3 má nejstrmější průběh linie CSD. Dalším stupněm v posloupnosti je vzorek DN1, který má méně strmý průběh křivky CSD a populaci větších vyrostlic o mírně vyšším počtu než vzorek DN3. Vzorek DN2 má nejvíce plochou křivku CSD a obsahuje vyrostlice největších velikostí. Zároveň má jeho křivka CSD mírně konkávní levý konec, značící deficit populace malých vyrostlic.



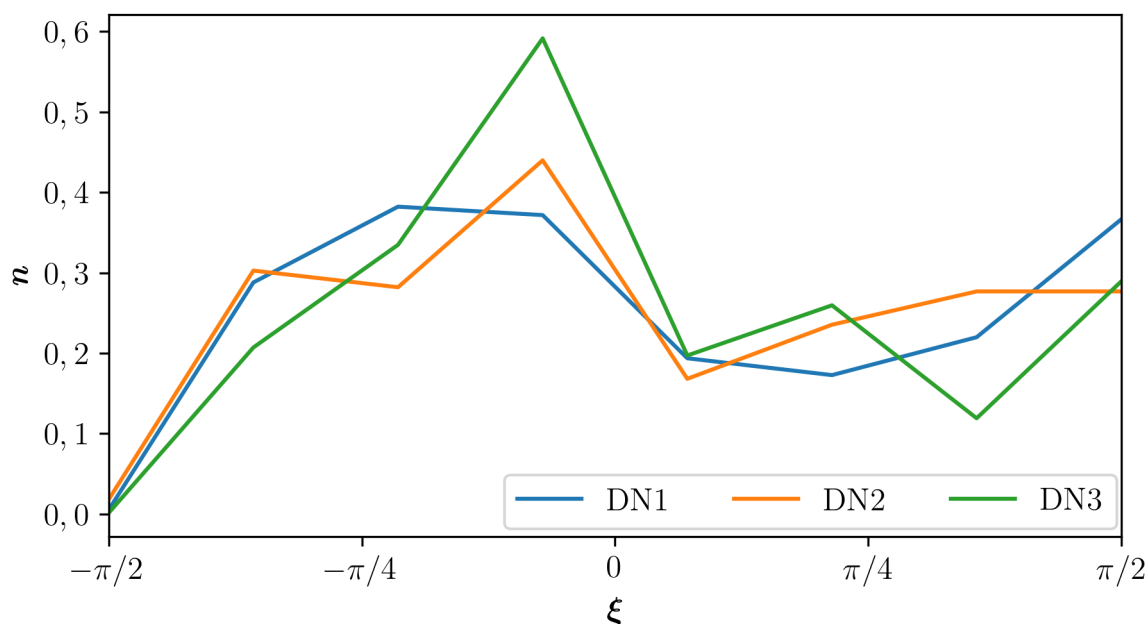
Obrázek 5.11: Poměr R/φ vzorků z lokality Dolní Nerestce, kde R je shlukovací index s chybovými úsečkami odpovídající rozptylu $v(R)$ podle Jerram a kol. (1996), φ je krystalinita a RTT je *Random Texture Trend* podle Špillar a Dolejš (2015).



Obrázek 5.12: Distribuce velikostí zrn (CSD) vzorků z lokality Dolní Nerestce, kde n je populační hustota a L_{CEq} je velikost vyrostlic.

Graf úhlů náklonu osy vyrostlice ξ na obrázku č. 5.13 ukazuje, že vzorky z Dolních Nerestců mají pouze slabou magmatickou stavbu. Okrajový vzorek DN3 má největší amplitudu v grafu, tudíž má náznak intenzivnější stavby než vzorky DN1 a DN2. Vzorek DN3

má též nejvíce ekvidimenzionální vyrostlice podle grafu poměru velikostí L_{RectA}/L_{RectB} (viz obrázek č. 5.10), pravděpodobně vlivem jejich malé velikosti, což by dokládá i strmý průběh křivky CSD. Vzorek DN2 z centra intruze má dle své nejmenší amplitudy úhlu ξ nejslabší stavbu ze vzorků.



Obrázek 5.13: Rozložení úhlů ξ vzorků z lokality Dolní Nerestce, kde n je populační hustota.

Nihošovice Přehled vzorků porfyrů z lokality Nihošovice spolu s jejich výsledky kvantitativně texturní analýzy je uveden v tabulce č. 5.3 a statistika výsledků je uvedena v tabulce č. 5.4. Vzorek N2 se rozděluje na označení N2_A1 a N2_A2, jelikož se jedná o kvantitativní texturní analýzy obou ploch totožného řezu. Vzorek N4 se dělí na N4_A, N4_B a N4_C, přičemž se jedná o analýzy tří ploch kolmých na sebe v rámci jednoho vzorku. Krystalinity φ vzorků se pohybují v hodnotách od 13 obj.% do 28 obj.%, kde vzorky N2 a N3 z okraje žíly mají nejnižší hodnoty a vzorek N1 ze středu intruze má krystalinitu φ nejvyšší. Hodnoty mediánu velikosti vyrostlice se pohybují od 1,096 do 2,070 mm, kde obě plochy okrajového vzorku N2 mají nejnižší mediány a vzorek N3 se ve svých hodnotách řadí těsně nad ně. Charakteristická velikost vyrostlice L_{ch} vzorků dosahuje hodnot od 0,810 do 1,710 mm, hodnoty obou ploch vzorku N2 jsou nejnižší, což souhlasí s polohou vzorku, který je nejbližší kontaktu intruze s okolní horninou. Tři kolmé plochy vzorku N4 z centrální části intruze mají

vyšší hodnoty krystalinity φ než vzorky z okrajové části N2 a N3, o hodnotách od 19 obj.% do 24 obj.%. Plochy vzorku N4 mají též nejvyšší mediány velikosti vyrostlice a nejvyšší charakteristické velikosti vyrostlice z celé vzorkové sady. Vyrostlice draselných živců ve vzorcích z Nihošovic jsou nejčastější samostatně nebo mají pouze jednoho kontaktního souseda. V případě dotýkajících se vyrostlic je nejčastější jeden kontaktní soused.

Tabulka 5.3: Přehled kvantitativních texturních dat z lokality Nihošovice (S = studovaná plocha, N = počet zrn, φ = krystalinita, R = shlukovací index, $v(R)$ = rozptyl hodnot shlukovacího indexu, $\tilde{\chi}(L_{CEq})$ = medián hodnot velikosti).

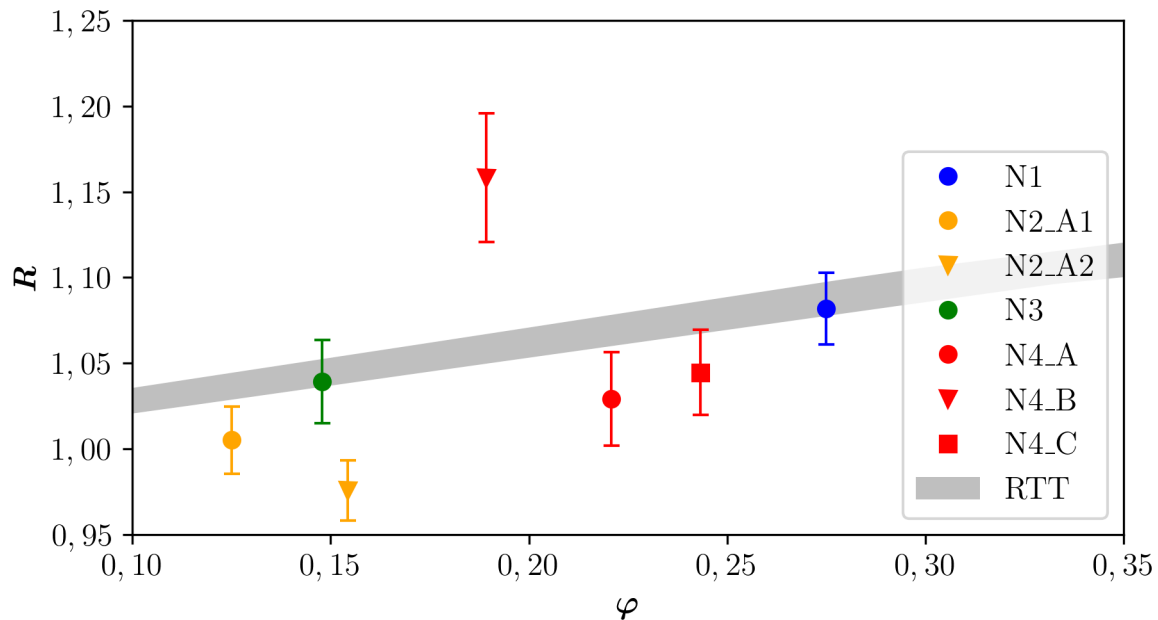
Vzorek	S [cm ²]	N	φ	R	$v(R)$	$\tilde{\chi}(L_{CEq})$ [mm]
N1	112	863	0,275	1,082	0,021	1,462
N2_A1	181	1014	0,125	1,005	0,020	1,227
N2_A2	184	1299	0,154	0,976	0,018	1,096
N3	135	600	0,148	1,039	0,024	1,279
N4_A	109	477	0,221	1,029	0,027	1,642
N4_B	96	277	0,189	1,158	0,038	2,070
N4_C	110	573	0,243	1,045	0,025	1,574

Tabulka 5.4: Statistika kvantitativních texturních dat z lokality Nihošovice (L_{ch} = charakteristická velikost, $\sigma(L_{ch})$ = směrodatná odchylka hodnot charakteristické velikosti, $\bar{\chi}(Nb)$ = aritmetický průměr počtu kontaktních sousedů, $\tilde{\chi}(Nb)$ = medián počtu kontaktních sousedů, $\bar{\chi}(Nb \geq 1)$ = aritmetický průměr počtu kontaktních sousedů, kterých je jeden a více, $\tilde{\chi}(Nb \geq 1)$ = medián počtu kontaktních sousedů, kterých je jeden a více).

Vzorek	L_{ch} [mm]	$\sigma(L_{ch})$	$\bar{\chi}(Nb)$	$\tilde{\chi}(Nb)$	$\bar{\chi}(Nb \geq 1)$	$\tilde{\chi}(Nb \geq 1)$
N1	1,345	0,083	0,930	1	1,527	1
N2_A1	0,810	0,072	0,463	0	1,199	1
N2_A2	1,012	0,077	0,755	1	1,493	1
N3	1,346	0,086	0,312	0	1,214	1
N4_A	1,575	0,113	0,650	0	1,336	1
N4_B	1,595	0,151	0,419	0	1,234	1
N4_C	1,710	0,157	0,838	1	1,472	1

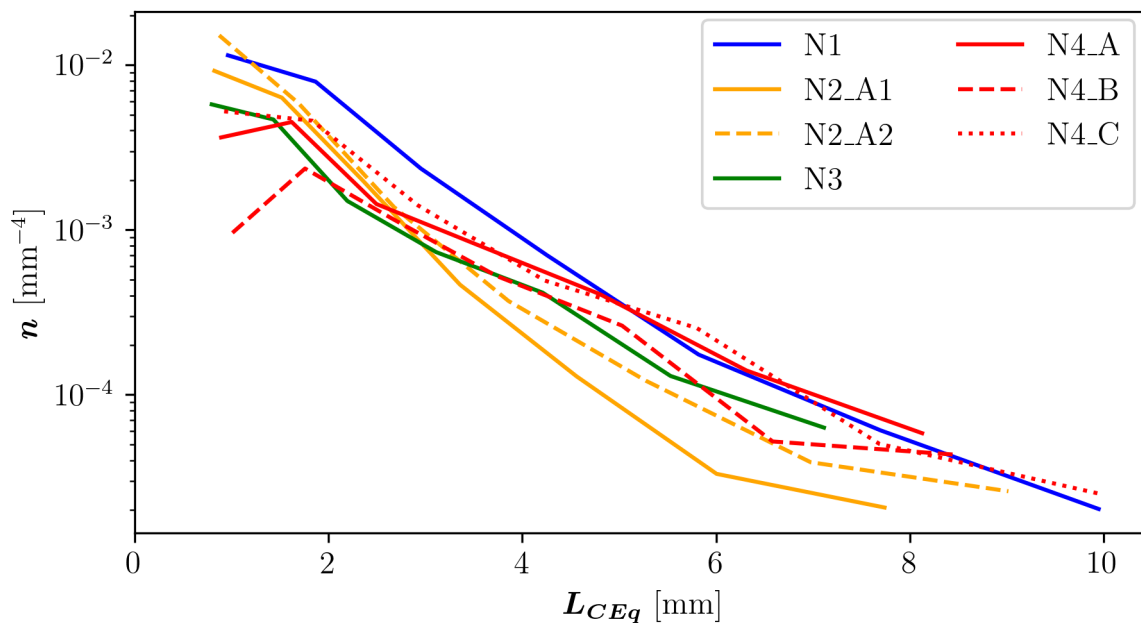
V grafu poměru R/φ na obrázku 5.14 je většina vzorků porfyrů z Nihošovic umístěna pod nebo v blízkosti pole náhodného rozmístění (RTT) s hodnotami shlukovacího indexu R v rozmezí od 0,976 do 1,158. Vzorky N2 a N3 z okrajů intruze utváří v grafu R/φ seskupení nejnižších hodnot shlukovacího indexu R a krystalinity φ , které se nachází mírně pod RTT v oblasti shlukování. Střed hodnot tří ploch vzorku N4 by se nacházel na horní hranici pole RTT, a aritmetický průměr jejich shlukovacích indexů je 1,077 a jejich

krystalinit je 18 obj.%. Plochy vzorku N4 se tedy umísťujú do ďalšieho stupně posloupnosti trendu tvořeného vzorky N2 a N3. Umístění vzorku N1, z centra intruze, v grafu se nachází mimo tento vzestupný trend se svou hodnotou shlukovacího indexu R vyčíslenou na 1,082.

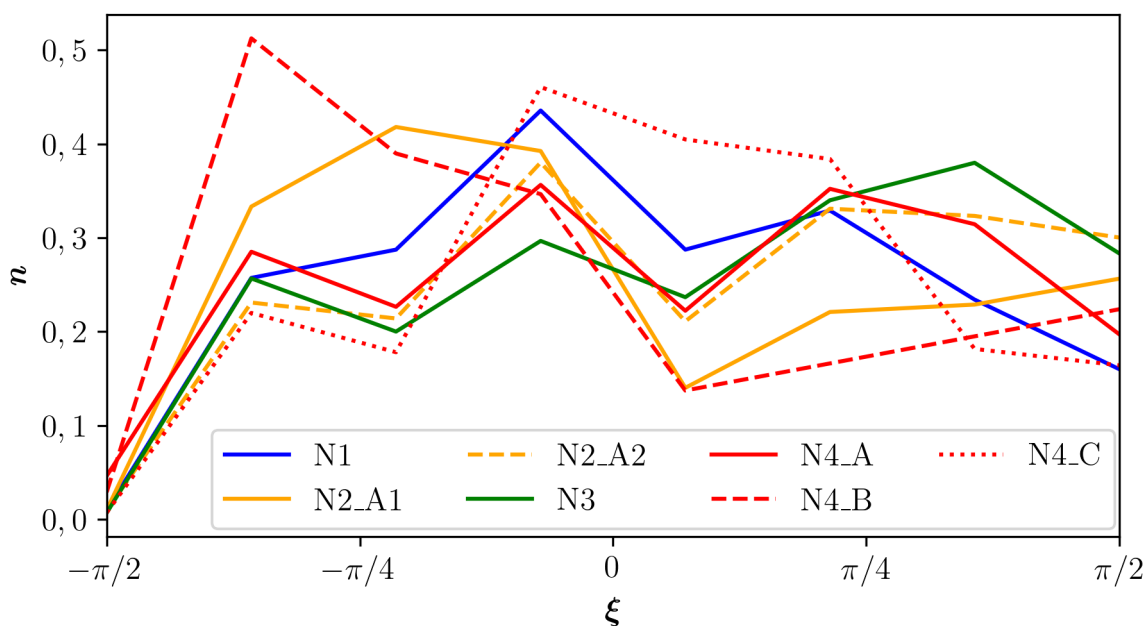


Obrázek 5.14: Poměr R/φ vzorků z lokality Nihošovice, kde R je shlukovací index s chybovými úsečkami odpovídající rozptylu $v(R)$ podle Jerram a kol. (1996), φ je krystalinita a RTT je *Random Texture Trend* podle Špillar a Dolejš (2015).

Distribuce velikostí zrn pro vzorky porfyrů z Nihošovic na obrázku č. 5.15 ukazuje vývojový trend mezi křivkami vzorků N2, N3 a N4, linie vzorku N1 je od nich odsazená. Linie CSD ploch vzorku N2 z kontaktu intruze mají nejstrmější průběh, s hodnotami sklonu -0,988 a -1,234, a vykazují největší deficit vyrostlic velkých velikostí. Tři plochy vzorku N4 z centra intruze mají oproti tomu nejvíce ploché linie CSD a deficit malých vyrostlic, jejich sklon se pohybuje v rozmezí od -0,585 do -0,635. Vzorek N3 se svým průběhem křivky CSD a hodnotou sklonu -0,743, se nachází mezi vzorky N2 a N4, skvěle dotvářející posloupnost od okraje intruze k jejímu středu. Vzorek N1 z úplného středu žíly má sklon křivky CSD o hodnotě -0,744, která se blíží hodnotě okrajového vzorku N3. Křivka vzorku N1 je však posunutá do větších velikostí L_{CEq} , což spolu s jejím sklonem nezapadá do zbylé vzorkové sady. Výše zmiňované porovnání charakteristické velikosti vyrostlic L_{ch} vzorků také poukazuje na vývoj od okraje ke středu nárůstem hodnot, ale vzorek N1 opět do tohoto trendu nezapadá.



Obrázek 5.15: Distribuce velikostí zrn (CSD) vzorků z lokality Nihošovice, kde n je populační hustota a L_{CEg} je velikost vyrostlic.



Obrázek 5.16: Rozložení úhlů ξ vzorků z lokality Nihošovice, kde n je populační hustota.

Z grafu úhlů ξ na obrázku č. 5.16 lze vyvodit, že vzorky z porfyrové intruze z lokality Nihošovice mají poměrně silnou stavbu. Obě plochy okrajového vzorku N2 i všechny tři plochy vzorku z centrální části žíly N4 mají relativně velkou amplitudu průběhu grafu. Intenzivní stavba se tedy nachází jak při okraji intruze tak v jejím středu. Protáhlý

charakter vyrostlic živců, které mají vzorky z Nihošovic největší dle grafu poměru stran vyrostlice L_{RectA}/L_{RectB} na obrázku č. 5.10, ještě více podporuje vývin intenzity stavby.

Pohorsko Data kvantitativní texturní analýzy vzorků porfyrů z lokality Pohorsko jsou uvedena v tabulce č. 5.5 a jejich statistika je uvedena v tabulce č. 5.6. Z uvedených dat je patrné, že krystalinita φ roste nelineárně od okraje do centra intruze. Okrajový vzorek P2 má nejnižší krystalinitu φ s hodnotou 14 obj.%. Vzorek P1 vzdálen 70 cm od kontaktu má krystalinitu φ o 23 obj.% a vzorek P3 vzdálen 58 m má téměř schodnou hodnotu krystalinity o hodnotě 24 obj.%. Krystalinity φ vzorků P1 a P3 jsou tedy téměř dvojnásobné hodnotě vzorku P2. Vzorek P4, odebírán ze sutí pocházející pravděpodobně z centra intruze, má krystalinitu φ o hodnotě 34 obj.%, což je $1,5\times$ větší než hodnoty předchozích vzorků P1 a P2. Mediány velikosti vyrostlice L_{CEq} se pohybují od 1,154 do 1,336 mm, kde vzorek P4 má nejnižší hodnotu a vzorek P1 má hodnotu nejvyšší. Vzorek P3 se svou hodnotou mediánu velikosti vyrostlice L_{CEq} velice podobá vzorku P1, s hodnotou 1,330 mm. Charakteristická velikost L_{ch} se pohybuje v rozmezí od 0,613 do 0,770 mm a její poměr hodnot mezi vzorky se podobá mediánu velikosti, kde vzorek P4 má nejnižší hodnotu, vzorek P2 má mírně vyšší hodnotu odpovídající 0,661 mm, a vzorky P1 a P3 mají nejvyšší hodnoty. Vzorek P4 se vymyká společným trendům i v počtu kontaktních sousedů vyrostlic, nejčastěji mají jeho živce jednoho kontaktního souseda, a při pohledu pouze na přidružené živce, tak mají nejčastěji dva kontaktní sousedy. Vyrostlice živců vzorků P1, P2 a P3 mají nejčastěji osamocené vyrostlice, a v případech doteku vyrostlic je nejčastější jeden kontaktní soused.

Tabulka 5.5: Přehled kvantitativních texturních dat z lokality Pohorsko (S = studovaná plocha, N = počet zrn, φ = krystalinita, R = shlukovací index, $v(R)$ = rozptyl hodnot shlukovacího indexu, $\tilde{\chi}(L_{CEq})$ = medián hodnot velikosti).

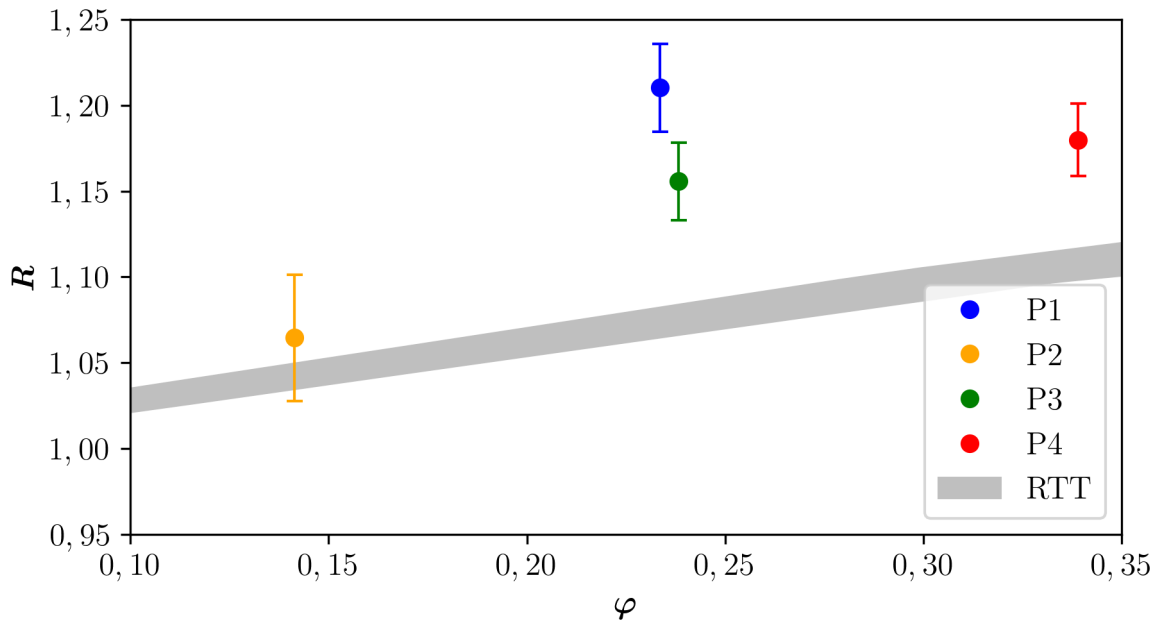
Vzorek	S [cm ²]	N	φ	R	$v(R)$	$\tilde{\chi}(L_{CEq})$ [mm]
P1	54	543	0,234	1,210	0,026	1,336
P2	36	285	0,141	1,065	0,037	1,202
P3	67	705	0,238	1,156	0,023	1,330
P4	43	858	0,339	1,180	0,021	1,154

Vzorky porfyrů z Pohorska se v grafu poměru R/φ na obrázku č. 5.17 nachází nad polem náhodného rozmístění (RTT) znázorňující prostorově uspořádaný charakter vyrostlic.

Tabulka 5.6: Statistika kvantitativních texturních dat z lokality Pohorsko (L_{ch} = charakteristická velikost, $\sigma(L_{ch})$ = směrodatná odchylka hodnot charakteristické velikosti, $\bar{\chi}(Nb)$ = aritmetický průměr počtu kontaktních sousedů, $\tilde{\chi}(Nb)$ = medián počtu kontaktních sousedů, $\bar{\chi}(Nb \geq 1)$ = aritmetický průměr počtu kontaktních sousedů, kterých je jeden a více, $\tilde{\chi}(Nb \geq 1)$ = medián počtu kontaktních sousedů, kterých je jeden a více).

Vzorek	L_{ch} [mm]	$\sigma(L_{ch})$	$\bar{\chi}(Nb)$	$\tilde{\chi}(Nb)$	$\bar{\chi}(Nb \geq 1)$	$\tilde{\chi}(Nb \geq 1)$
P1	0,770	0,052	0,492	0	1,302	1
P2	0,661	0,038	0,579	0	1,320	1
P3	0,766	0,019	0,661	0	1,367	1
P4	0,613	0,009	1,613	1	2,000	2

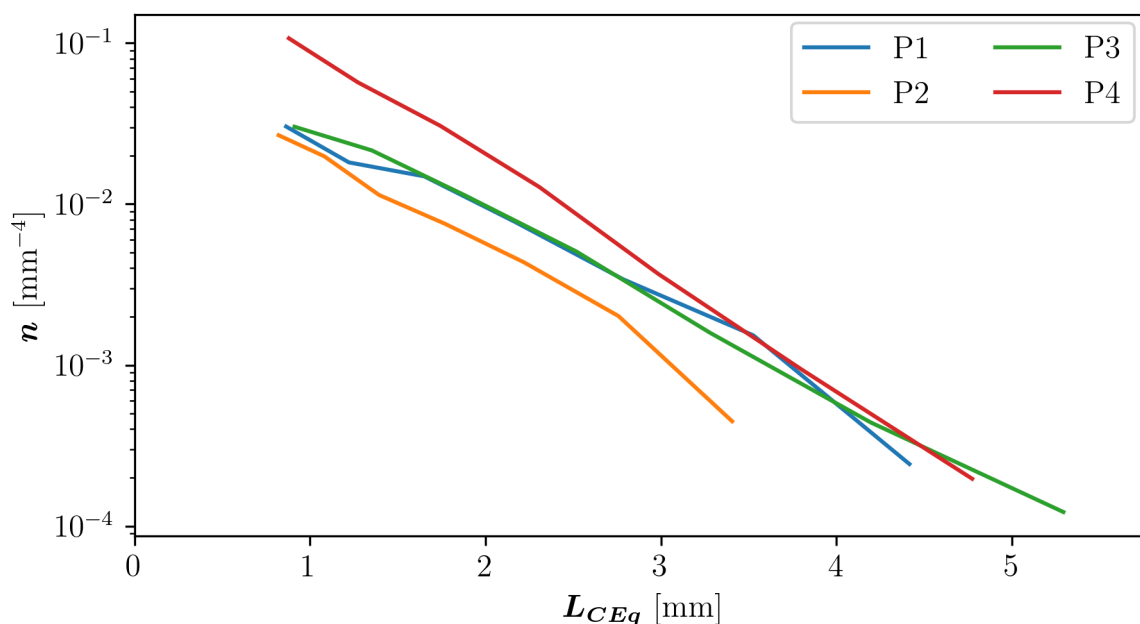
Hodnoty shlukovacího indexu R vzorků se pohybují v rozmezí od 1,065 do 1,210, kde dva okrajové vzorky P2 a P1 mají jak nejnižší tak nejvyšší hodnotu. V grafu poměru R/φ jsou tyto dva okrajové vzorky od sebe značně odsunuté, ale stále mohou sledovat totožný trend v grafu. Hodnota shlukovacího indexu R vzorku P3 z centra žíly je 1,156. Okrajový vzorek P1 a vzorek P3, mají velmi podobné vlastnosti v grafu R/φ . Vzorek P4 je v grafu od vzorku P3 posunutý z důvodu své značně vyšší krystalinity φ s hodnotou 34 obj.%.



Obrázek 5.17: Poměr R/φ vzorků z lokality Pohorsko, kde R je shlukovací index s chybovými úsečkami odpovídající rozptylu $v(R)$ podle Jerram a kol. (1996), φ je krystalinita a RTT je *Random Texture Trend* podle Špillar a Dolejš (2015).

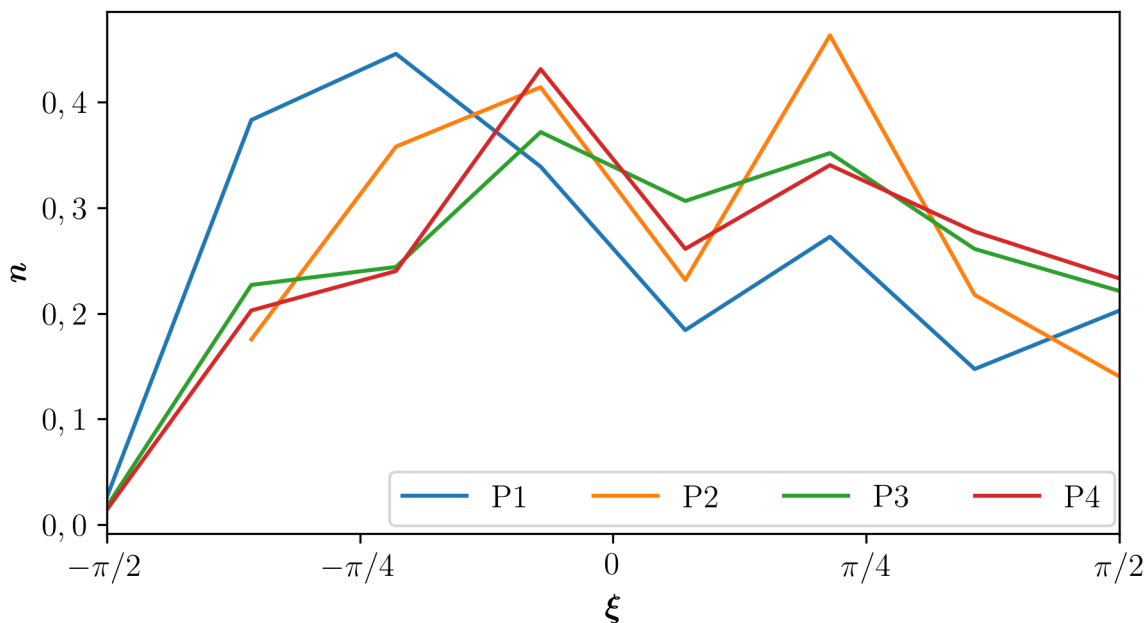
Linie distribuce velikostí zrn (CSD) vzorků z lokality Pohorsko mají velmi lineární průběhy. Vzorek P2, nejbližší kontaktu intruze, má nejnižší počty hustoty populace n

a jeho vyrostlice nedosahují velikostí ostatních vzorků. Sklon linie CSD vzorku P2 má hodnotu -1,513. Křivky CSD vzorků P1 a P3 jsou velice podobné a jsou zároveň nejplošší z ostatních vzorků. Linie CSD vzorku P1 má sklon -1,299 a linie vzorku P3 má sklon -1,305, ale vzorek P3 obsahuje vyrostlice největších velikostí. Vzorek P4, který se odlišoval od zbylé skupiny vzorků i v předešlých veličinách, má nejstrmější průběh křivky CSD s hodnotou sklonu -1,631. Zároveň je jeho linie odsunuta do vyšších velikostí vyrostlic, podobně jako vzorek N1 v sadě vzorků z Nihošovic.



Obrázek 5.18: Distribuce velikostí zrn (CSD) vzorků z lokality Pohorsko, kde n je populační hustota a L_{CEq} je velikost vyrostlic.

V grafu úhlů ξ na obrázku č. 5.19 mají vzorky porfyrů z lokality Pohorsko relativně podobné průběhy křivek. Jejich amplitudy jsou nejmenší ze všech tří lokalit, což dokládá nejméně vyvinutou magmatickou stavbu. To podporují i data v grafu poměru velikostí L_{RectA}/L_{RectB} , uvedeného výše na obrázku č. 5.10, kde pohorské vzorky mají nejvíce izometrické vyrostlice živeců.



Obrázek 5.19: Rozložení úhlů ξ vzorků z lokality Pohorsko, kde n je populační hustota.

5.3 Prášková rentgenová difrakce

Data práškové rentgenové difrakce se vztahují pouze na vyrostlice draselného živce vzorku N4 z lokality Nihošovice. K následujícím interpretacím byl vybrán pouze RTG záznam získaný metodou odběru postupem mechanické separace pomocí chirurgického dláta. Metoda odběru postupem navrtání bohužel neposkytovala dostatečně kvalitní RTG záznamy potřebné interpretaci. Difrakční RTG záznamy získané touto metodou vykazovaly rozšířené difrakce a nebyly tak vhodné k výpočtu mřížkových parametrů a triklnity. Pravděpodobně během odvtávání živce mikrovrtačkou dochází k částečnému poškození jeho krystalové struktury, respektive pravděpodobně nárůst mikropnutí v odebraném vzorku.

Fázová analýza rentgenového záznamu poskytuje semikvantitativní složení odebrané živcové vyrostlice vzorku N4 a její výsledky jsou uvedené v tabulce č. 5.7. Výsledky dokládají, že separovaná vyrostlice obsahuje fázi draselného živce, který byl podle rtg určen jako mikroklin, ze 68 hm% a fázi albitu z 19 hm%. Vyrostlice dále obsahuje křemen, flogopit, a klinochor v menších množstvích, pravděpodobně v podobě pozorovaných inkluzí.

Tabulka 5.7: Semikvantitativní složení vyrostlice draselného živce z porfyru z lokality Nihošovice.

Minerál	[hm %]
K-živec(mikroklin)	68
Albit	19
Křemen	9
Flogopit	3
Klinochlor	1

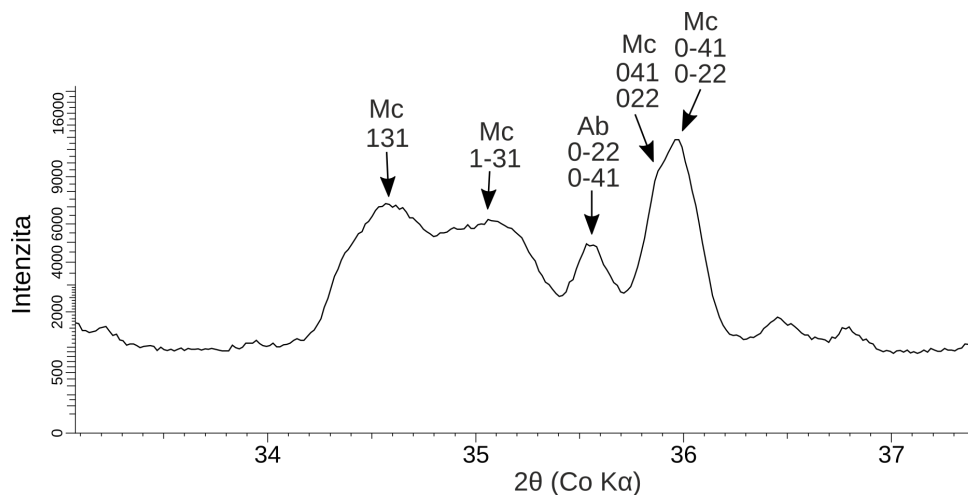
Vypočtené mřížkové parametry z difrakčního RTG záznamu vyrostlice draselného živce vzorku N4 odpovídají základní buňce v prostorové grupě $C\bar{1}$. Specificky odpovídají mřížkovým parametrům mikroklinu podle Deer a kol. (2013). Vypočtené parametry základní buňky jsou uvedeny v tabulce č. 5.8. Stupeň triklinity analyzovaného mikroklinu určený z mezirovinných vzdáleností roviny (131) a ($1\bar{3}1$) byl zaokrouhlen na hodnotu triklinity 0,4. Přesnější určení triklinity bylo komplikováno poměrně širokými píky v RTG záznamu a také částečnou interferencí difrakce ($1\bar{3}1$) od minoritně přítomného albitu (19 hm %). Vzorek také může obsahovat různě uspořádané domény s různě velkou triklinitou, což přispívá k rozšíření difrakcí. Vliv může mít také chemická zonálnost živce v odebraném vzorku. Na obrázku č. 5.20 je uveden detail difrakčního RTG záznamu obsahující difrakce roviny potřebné k výpočtu triklinity.

Tabulka 5.8: Krystalografické parametry základní buňky vyrostlice draselného živce z lokality Nihošovice. Uváděné odchylky parametrů jsou výsledkem matematického zpracování při výpočtu mřížkových parametrů a jsou podhodnocené. Realistický odhad odchylek je řádově větší.

Základní buňka	
a (Å)	8,5894(7)
b (Å)	12,9792(10)
c (Å)	7,2166(5)
α	90,305(8)°
β	115,998(5)°
γ	88,990(7)°
V (Å ³)	723,01(9)
Z	4
Prostorová grupa	$C\bar{1}$

Tabulka 5.9: Výpočet triklinity z hodnot d_{131} a $d_{\bar{1}\bar{3}\bar{1}}$

Výpočet triklinity	
d_{131}	3.01
$d_{\bar{1}\bar{3}\bar{1}}$	2.98
triklinita	cca 0.4

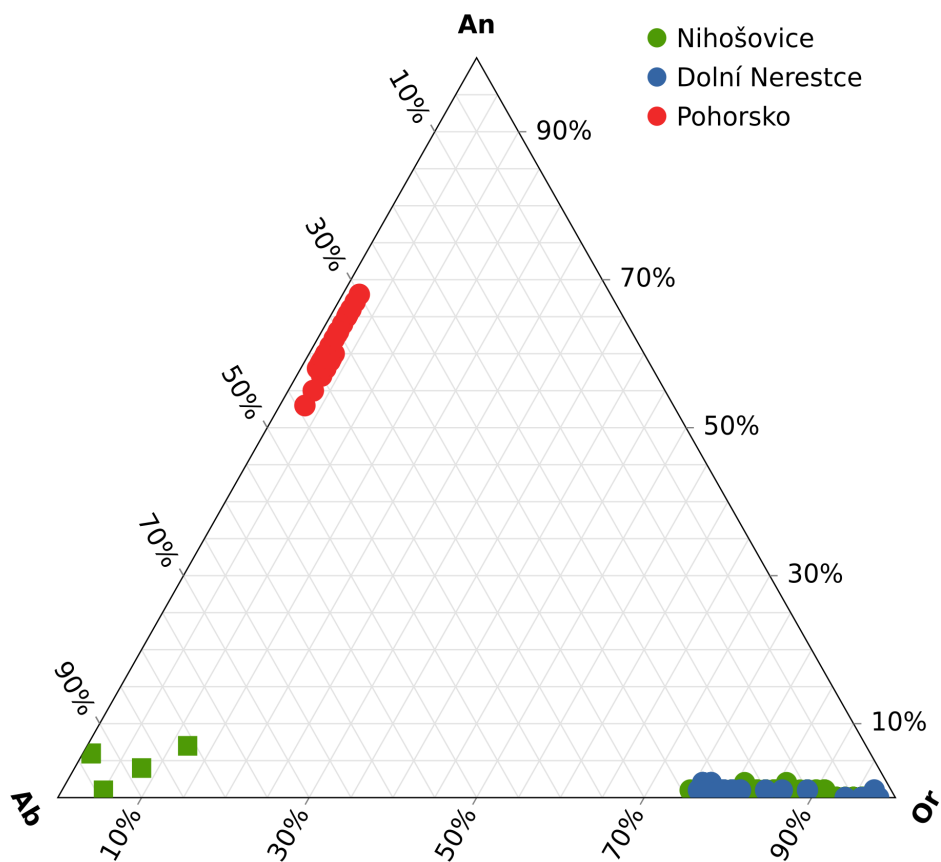


Obrázek 5.20

5.4 Mikroanalytické metody

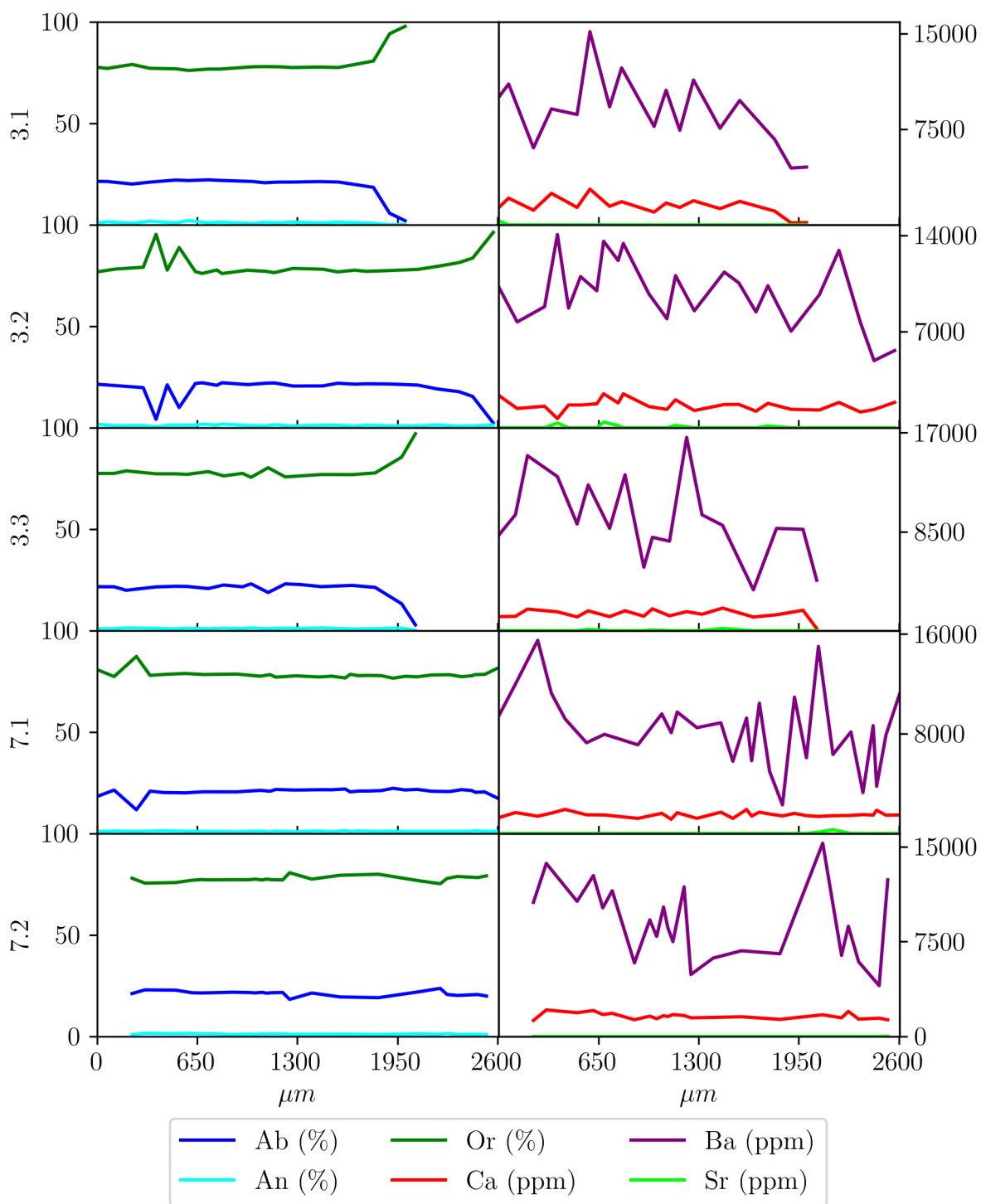
Bodové analýzy vlnově disperzní spektrometrie (WDS) byly vedené podél profilu od středu k okraji dané živcové vyrostlice. Procentuální zastoupení fází se dělí mezi mineralogické složky alkalických živců: albit (Na), anortit (Ca) a ortoklas (K). Na obrázku č. 5.21 je přehled bodových analýz WDS prováděných na vyrostlicích všech lokalit zasazen do ternárního diagramu. Vyrostlice živců z Dolních Nerestců a Nihošovic jsou tvořené minimálně z 85 % ortoklasovou komponentou. Pár zkušebních bodových analýz odmišenin ve vyrostlicích z Nihošovic jsou naopak tvořené téměř zcela albitovou komponentou. Živcové vyrostlice z Pohorska se v ternárním diagramu nachází na linii plagioklasové řady s 50% až 70% anortitovou komponentou. Ke grafickému znázornění jednotlivých profilů bodových analýz WDS byly vybrány tři hlavní komponenty v podobě mineralogického složení živců, respektive procentuální zastoupení albitu, anortitu a ortoklasu. Dále též tři stopové komponenty, které pro vyrostlice draselných živců z Dolních Nerestců a Nihošovic představují baryum, vápník a stroncium. A minoritní komponenty pro plagioklasové vyrostlice z Pohorska jsou baryum, draslík a stroncium. Rubidium pro všechny bodové analýzy vycházelo pod detekčním limitem, který je 305 ppm. Všechny minoritní komponenty jsou uváděné v hodnotách ppm. Přehled jednotlivých profilů je vždy uveden v

obrázku pro konkrétní lokalitu níže.



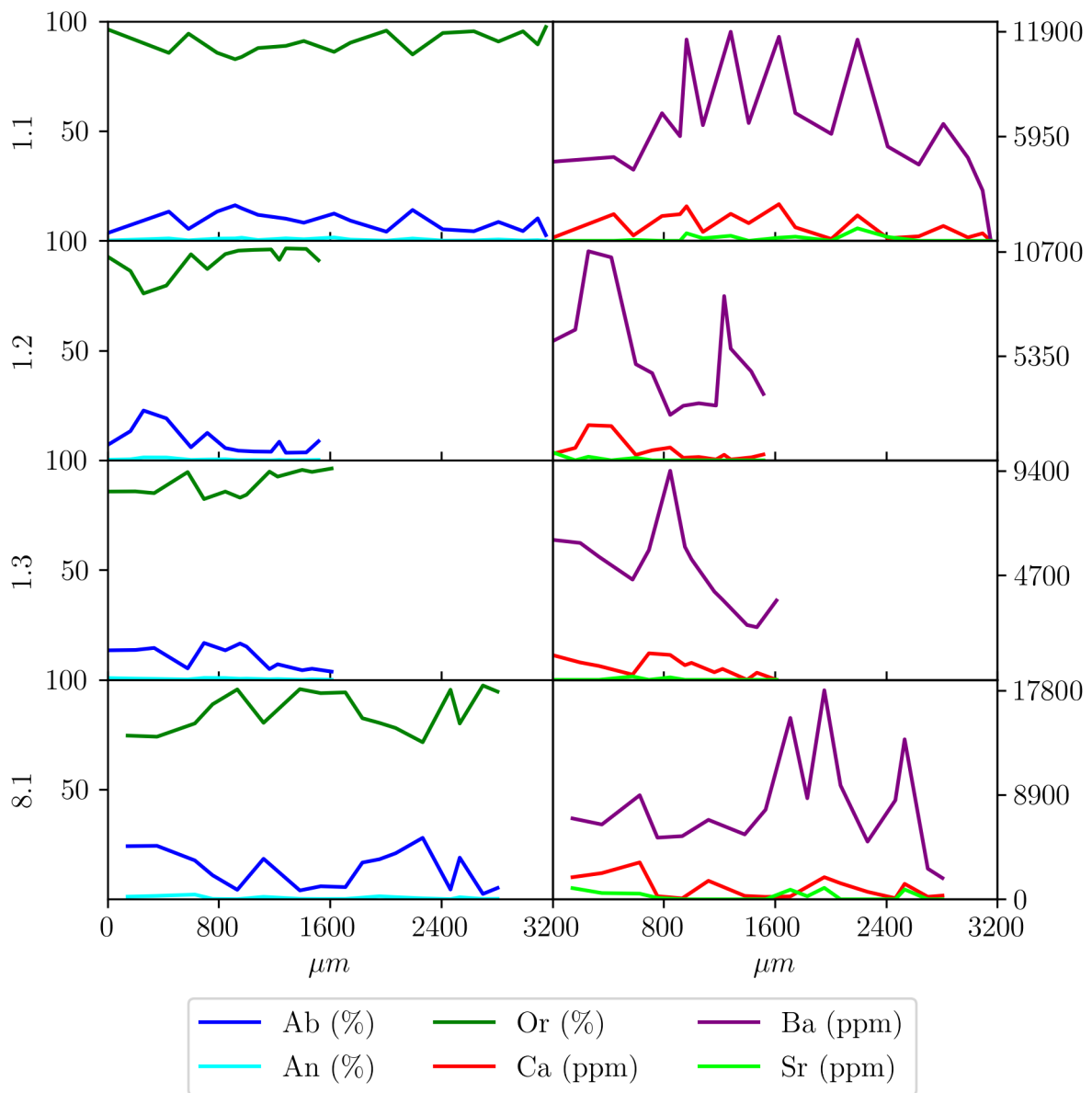
Obrázek 5.21: Ternární diagram znázorňující složení zonalit živcových vyrostlic (barvy odpovídají jednotlivým lokalitám, kolečko reprezentuje bodové analýzy zonalit, čtvereček reprezentuje bodové analýzy odměšenin v živci), k tvorbě diagramu byl využit program TernaryPlot.com.

Dolní Nerestce Přehled bodových analýz prováděných metodou vlnově disperzní spektrometrie (WDS) na vzorku DN1 z Dolních Nerestců je uveden na obrázku č. 5.22. Pět analyzovaných živců je nanejvýš vzdáleno do 5 cm od sebe a jejich profilům náleží čísla 3.1, 3.2, 3.3, 7.1 a 7.2. Profily 3.1 a 3.2 jsou ze dvou srostlých vyrostlic, profily 7.1 a 7.2 jsou z dvou částí živcového dvojčete, a profil 3.3 je ze samostatné vyrostlice. Procentuální minerální zastoupení na obrázku č. 5.22 poukazuje na poměrně velkou stabilitu hlavních komponent napříč vyrostlicemi. Ortoklasová komponenta si v průběhu celého profilu udržuje hodnoty kolem 80 %, albitová kolem 20 % a anortitová kolem 1 %. Vzácné kolísání v obsahu ortoklasové komponenty je pouze z ojedinělých oblastí přítomnosti albitových odmíšenin, které přednostně přijímají sodík a vypuzují draslík — okolní vyrostlice je pak o draslík výrazně obohacena. Maximální rozpětí hodnot ortoklasové komponenty v profilech je od 75 do 98 %, rozpětí albitové komponenty je od 2 do 24 % a anortitové komponenty je od 0 do 2 %. Zonalita, která je jinak výrazně znatelná v BSE snímcích, se zde projevuje pouze jako výkyvy stopových komponent, zejména přítomností barya. Obsahy barya ve vyrostlicích kolísají od 2 299 ppm do 16 600 ppm, s průměrnou hodnotou 9 113 ppm. Pozitivní výkyvy barya odpovídají bodům analyzovaným v místech s přítomností světlé zonality ve snímcích z BSE. Obsahy vápníku, až na pár výjimek, sledují trend výkyvů obsahu barya a pohybují se v hodnotách od 156 do 2 800 ppm, průměrná hodnota je 1535 ppm. Obsahy stroncia kolísají od 0 do cca 410 ppm s průměrnou hodnotou 21 ppm. Profily 3.1, 3.2 a 3.3 mají výrazný růst ortoklasové komponenty u okraje vyrostlice až k 97 %, bez ohledu na její velikost. Profily 7.1 a 7.2 mají pouze v okrajové oblasti náznak vzrůstajícího trendu, ale také tyto profily bohužel nebyly protáhlé až do absolutního okraje vyrostlice jako předešlé profily. Lze tedy předpokládat, že by podobný okrajový trend mohly následovat též. Jednalo by se tedy o projev přítomný bez ohledu na velikost vyrostlice.

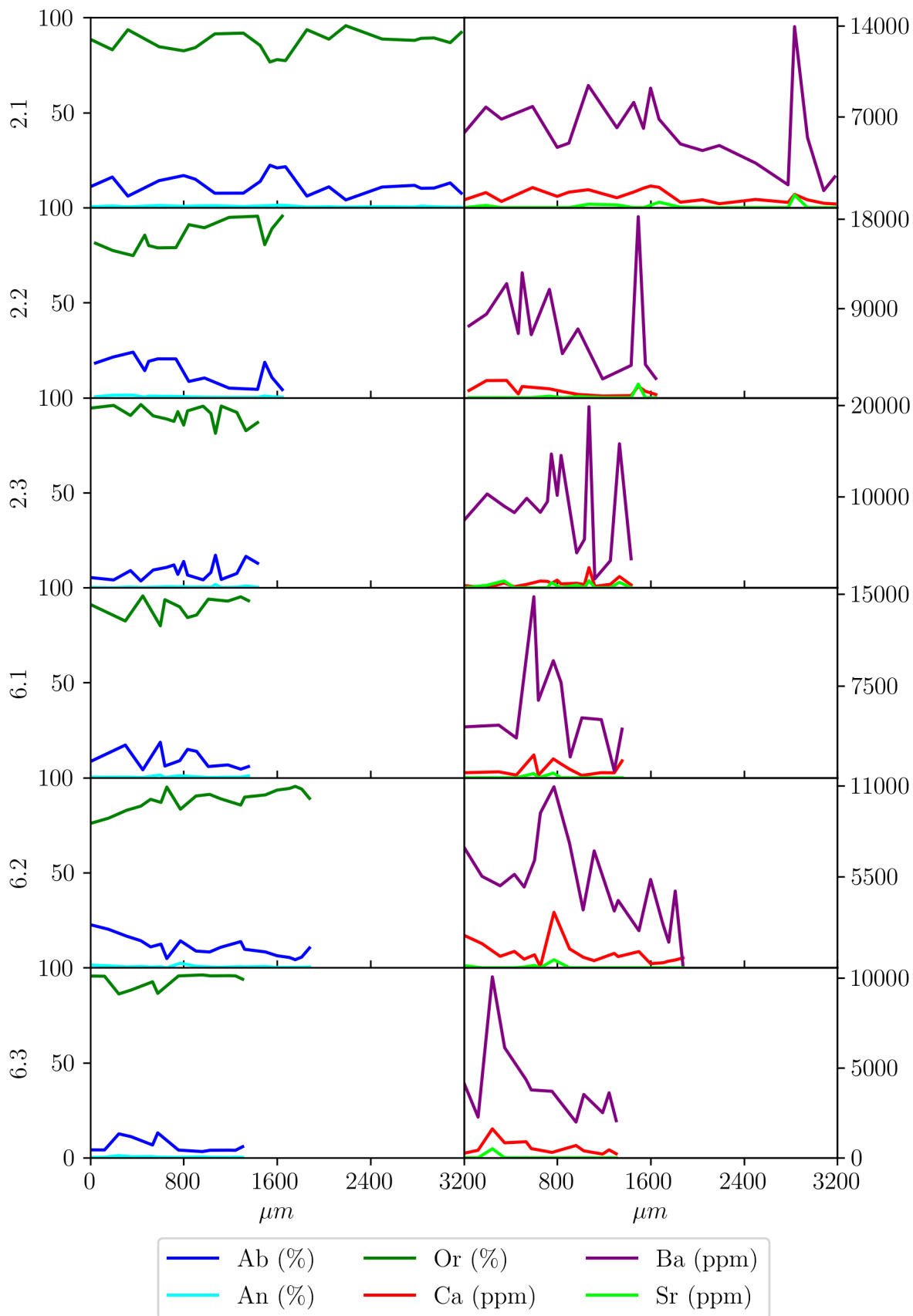


Obrázek 5.22: Souhrn výsledků bodových analýz pěti profilů vedených od středů vyrostlic draselných živců ve vzorku DN1 z Dolních Nerestců.

Nihošovice Bodové analýzy vlnově disperzní spektrometrie byly prováděné na živcových vyrostlicích vzorků N3 a N4 z Nihošovic. V rámci obou vzorků byly analýzy opět prováděné na vyrostlicích v těsné blízkosti a bylo celkem pořízeno deset profilů, každý na jiné vyrostlici. Přehled profilů bodových analýz prováděných na vzorku N3 je uveden na obrázku č. 5.23 a profily vyrostlic vzorku N4 jsou na obrázku č. 5.24. U bodových analýz obou vzorků konzistentně kolísají mineralogické komponenty v rozmezí ± 10 až 20 %. Profily 1.1, 1.2, 1.3 a 8.1 prováděných na živcových vyrostlicích vzorku N3 mají obsah ortoklasové komponenty od 71 do 97 % s průměrnou hodnotou 89 %, obsah albitové komponenty od 2 do 28 % s průměrnou hodnotou 10 %, a obsah anortitové komponenty od 0 do 2 %. Minoritní komponenty zaznamenávají relativně velké výkyvy — vápník kolísá v obsahu od 0 do 3 144 ppm s průměrnou hodnotou 757 ppm, obsah barya kolísá od 0 do 17 812 ppm s průměrným obsahem o 6 356 ppm, a stroncium od 0 do 976 ppm s průměrným obsahem 130 ppm. Vyrostlice vzorku N4 byly zachyceny profily 2.1, 2.2, 2.3, 6.1, 6.2 a 6.3 a pouze vyrostlice obsahující profily 2.2 a 2.3 jsou srostlé k sobě. Jejich mineralogické komponenty mají obdobné fluktuace — ortoklasová komponenta se pohybuje od 74 do 96 % s průměrnou hodnotou 89 %, ortoklasová komponenta kolísá od 3 do 24 % s průměrnou hodnotou 11 %, a anortitová komponenta nabývá hodnot od 0 do 2 %. Profily obou vzorků tedy mají fluktující hlavní komponenty a velké výkyvy v minoritních komponentách. Obsahy barya mají velká maxima a minima, přesto se jejich střední hodnota mírně snižuje směrem k okraji vyrostlice. Zonalita tvořená odmíšeninami nebo obecně oblastmi přítomnosti odmíšenin, nemá jednoznačnou nebo zcela postrádá souvislost s výskytem vyššího obsahu barya, jako tomu bylo v analýzách z Dolních Nerestců.

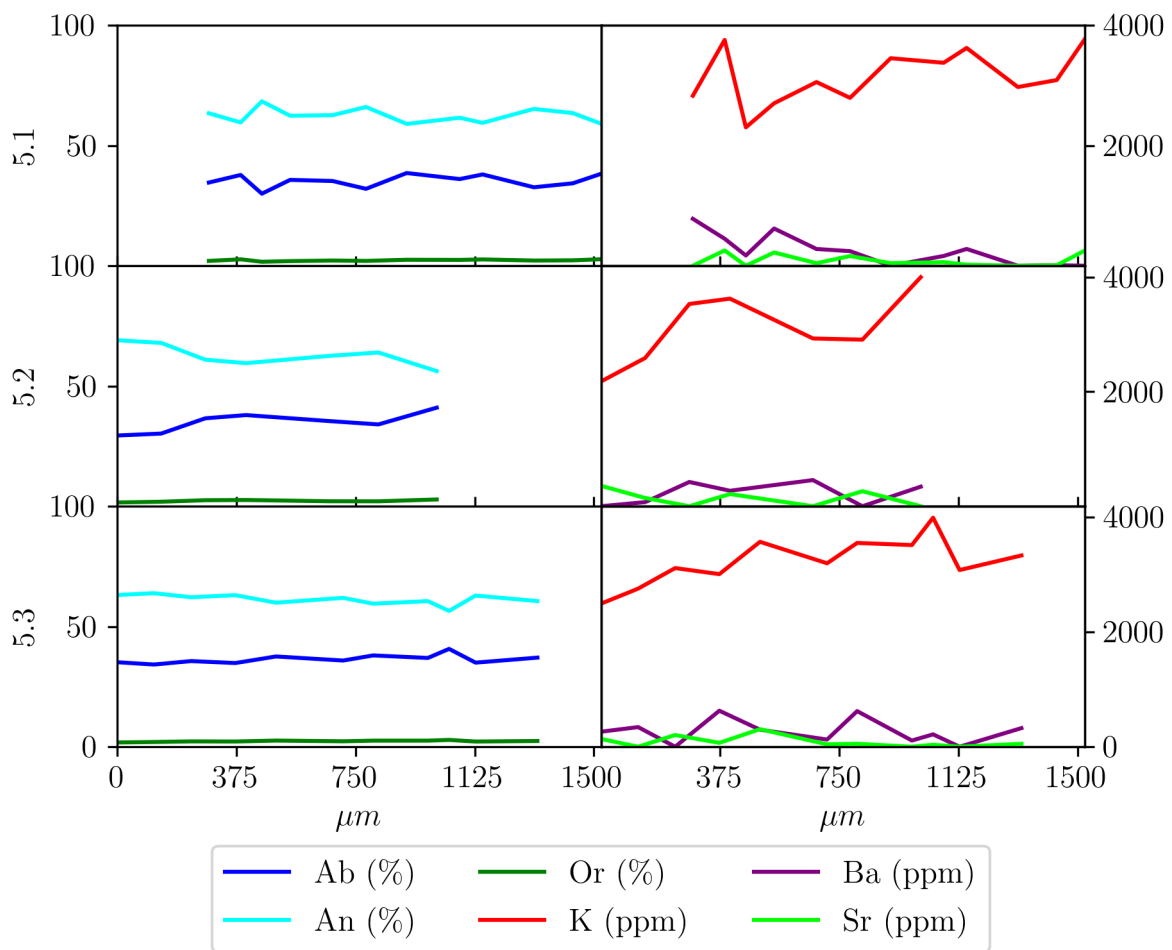


Obrázek 5.23: Souhrn výsledků bodových analýz čtyř profilů vedených od středů vyrostlic draselných živců ve vzorku N3 z Nihošovic.

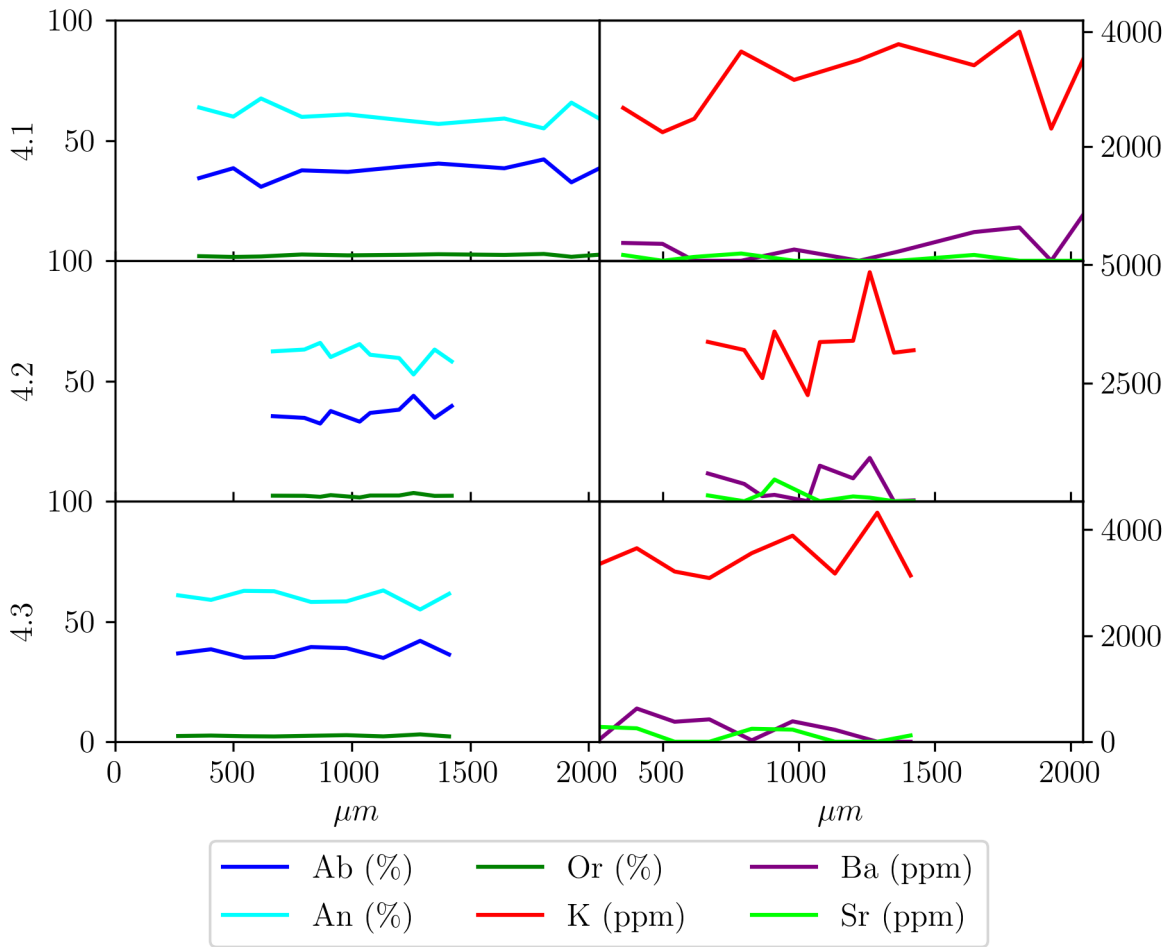


Obrázek 5.24: Souhrn výsledků bodových analýz šesti profilů vedených od středů vyrostlic draselných živců ve vzorku N4 z Nihošovic.

Pohorsko U pohorského porfyru bylo šest profilů bodových analýz vlnově disperzní spektrometrie (WDS) prováděno na vzorcích P1 a P3, a jejich souhrn je uveden na obrázcích č. 5.25 a č. 5.26. Jelikož většina vyrostlic živeců na této lokalitě má střed vyplněný směsí tmavých slíd, tak byly profily začínány co nejbližší středu, jak jen bylo možné. Z tohoto některé grafy začínají až s odstupem od počátku, respektive odhadovaného středu, který je vždy v grafech bodových analýz umístěn do vzdálenosti 0 μm . Z jeho poměru hlavních mineralogických komponent je patrné, že se v případě Pohorska jedná o plagioklasové vyrostlice. Složení vyrostlic vzorku P1 je zaznamenáno profily 5.1, 5.2 a 5.3 — nejvíce přítomnou mineralogickou komponentou je anortit v rozmezí od 56 do 69 % s průměrnou hodnotou 62 %. Dále obsah albitové komponenty se pohybuje od 29 do 41 % s průměrnou hodnotou 36 % a přítomnost ortoklasové komponenty je značně nižší od 1,5 do 3 %. Minoritní komponenty ve vyrostlicích vzorku P1 mají relativně malé fluktuace — obsah draslíku nabývá hodnot od 2180 do 4000 ppm s průměrnou hodnotou 3170 ppm, obsah barya se pohybuje od 0 do 780 ppm s průměrnou hodnotou 249 ppm a stroncium se pohybuje od 0 do 357 ppm s průměrnou hodnotou 98 ppm. Profily 4.1, 4.2 a 4.3 náležící vyrostlicím vzorku P3 má obdobně též relativně malé fluktuace v obou typech komponent. Mineralogická komponenta anortitu se pohybuje v rozmezí od 52 do 67 % s průměrnou hodnotou 61 %, albitová komponenta nabývá hodnot od 31 do 44 % s průměrnou hodnotou 37 %, a ortoklasová komponenta se pohybuje v hodnotách od 1,5 do 3,5 %. Obsah minoritní komponenty draslíku je od 2243 do 4842 ppm s průměrnou hodnotou 3302 ppm, baryum se pohybuje v hodnotách od 0 do 916 ppm s průměrnou hodnotou 277 ppm, a obsah stroncia se pohybuje od 0 do 459 ppm s průměrnou hodnotou 85 ppm. Přítomnost barya a stroncia v plagioklasech obou vzorků se ve většině případů chová protichůdně. Obsah draslíku v profilech vzorku P1 mírně roste směrem k okraji vyrostlice, tento jev není patrný v profilech vzorku P3. Obsah živcových komponent je relativně stabilní v porovnání se složením z Nihošovic a obsahy minoritních komponent mají nejmenší fluktuace ze všech tří lokalit.



Obrázek 5.25: Souhrn výsledků bodových analýz tří profilů vedených od středů vyrostlic plagioklasových živeců ve vzorku P1 z Pohorska.



Obrázek 5.26: Souhrn výsledků bodových analýz tří profilů vedených od středů vyrostlic plagioklasových živečů ve vzorku P3 z Pohorska.

6. Diskuze výsledků

6.1 Dolní Nerestce

Vzorky porfyrů z Dolních Nerestců mají relativně malé rozpětí shlukovacího indexu R a proto se v grafu R/φ nachází nad, ale stále relativně blízko pole náhodného rozmístění (RTT). Vztahy v grafu R/φ tak mohou vypovídat o magmatu s poměrně nízkou mírou vykrystalizovanosti před vmístěním. Hlavní trend, který vzorky v grafu R/φ utváří při porovnání s teoretickými vývoji krystalové suspenze podle Špillar a Dolejš (2015), odpovídá krystalizačnímu vývoji o magmatu s počáteční 15% krystalinitou, která byla navýšena mechanickou akumulací. Jelikož hodnoty shlukovacího indexu R jsou relativně nízké, zřejmě se jednalo pouze o malý rozsah tokové mechanické akumulace, což nedovolilo rozvinutí uspořádání a navýšení hodnot shlukovacího indexu R . To podporuje i pozorovaný velmi jemnozrný matrix ve větší části intruze v oblasti od okraje, jelikož dokládá rychlejší utuhávání.

Vzorky z Dolních Nerestců v grafu distribucí velikostí zrn (CSD) mají na první pohled konvexnější průběh linií oproti ostatním lokalitám. Tento jev dokládá více generační krystalizaci, jak ve své práci pojednává Marsh (1998). Jelikož linie neobsahují náhlou změnu ve sklonu, ale spíše jeho kontinuální zploštění, v rámci jedné linie, jednotlivé generace přechází kontinuálně jedna v druhou. Pravděpodobně by se mohlo tedy jednat o vícefázový magmatický vývoj v podobě série menších magmatických krbů v několika korových úrovních nad sebou, bez výrazných procesů frakcionace mezi jednotlivými úrovněmi. Alternativně by se dal konvexní charakter linií distribucí velikostí zrn (CSD) vysvětlit i mechanickým nabohacením o velká zrna. Při porovnání sklonů linií CSD mezi jednotlivými vzorky, respektive porovnání jejich charakteristických velikostí vyrostlic L_{ch} , tak je zde viditelná posloupnost od kontaktního okraje intruze v podobě vzorku DN3 s největším sklonem, přes vzorek DN1 vzdálen 1 m od kontaktu s mírně menším sklonem, po vzorek DN2 ze středu intruze a s nejmenším sklonem své linie CSD. Tato posloupnost sklonů linií distribuce velikostí zrn (CSD), podporuje informace poskytnuté krystalinitou φ o efektu tokové separace během vmístění.

Intenzivnější magmatická stavba podél kontaktu žíly, dle průběhu křivek okrajových vzorků DN3 a DN1 v grafu úhlů ξ , může dosvědčovat větší gradient toku u okraje intruze. V souladu s tím, že vzorek DN2 z centra intruze má podle grafu úhlů ξ slabší stavbu než předešlé vzorky, může se jednat o záznam tokové stavby magmatu, která by byla funkcí gradientu, jelikož souvisí s posloupností vzdálenosti vzorků od kontaktu. Přítomnost záznamu tokové stavby podporuje i deficit malých vyrostlic ve středovém vzorku DN2, jelikož větší zrna jsou více citlivá na proces mechanické akumulace.

Bodové analýzy WDS živcových zonalit dokládají, že hlavní komponenty jsou stabilní napříč vyrostlicí, v mateřské granitové tavenině tedy pravděpodobně probíhal stabilní vývoj s ohledem na distribuci hlavních živcových komponent. Zonality jsou komplexní pouze z pohledu stopových prvků, výkyvy obsahů baryové komponenty jsou podloženy pozorováním odpovídajících zonalit v BSE. Mohlo se tedy jednat o magma s relativně stabilním složením, ale v kterém docházelo ke změně podmínek v podobě teploty, tlaku, případně obsahu vody, které by ovlivňovaly distribuční koeficient stopových prvků. Zonality s vysokými obsahy stopové komponenty barya, může značit opakované rozpouštění vlivem termální heterogenity magmatu Lubbers a kol. (2023). Tato spojitost by mohla odpovídat předešlému tvrzení o možnosti série menších krbů nad sebou, pokud by v rámci výstupu magmatu přes korové úrovně nedocházelo k výrazné frakcionaci nebo separaci materiálu, ale teplotní podmínky by byly značně proměnlivé.

Pozorování zonalit draselných živců z Dolních Nerestců ve zpětně odražených elektrodech (BSE) dokumentuje četné resorpční hrany zonalit spolu s variabilitou intenzity a šířky v rámci jednoho pásu zonality. Pozice maxim a minim stopového složení od jednotlivých zrn se nepodařilo korelovat mezi sebou. Obě tyto pozorování dokládají, že růst a rozpouštění vyrostlic draselného živce byly řízeny výrazně lokálními efekty. Každé zrno pravděpodobně zaznamenává individuální vývoj, možná i zcela individuální na měřítku difuzní povrchové vrstvy kolem zrna v tavenině. Spojujícím aspektem vyrostlic je nabohacení ortoklasovou komponentou v $\pm 100\mu\text{m}$ okraje a pozorované světlé ohraničení s odmíšeninami v BSE, by se jednalo o krystalizační událost v posledních stádiích vzniku vyrostlic postihující všechny draselné živce bez ohledu na jejich velikost. Možná událost mohla proběhnout těsně před nebo během vmístování do intruze.

6.2 Nihošovice

Vzorky porfyru z lokality Nihošovice se řadí v grafu R/φ z větší části do pole, kde mají zrna spíše shlukující charakter (*clustered*). Pokud budeme v grafu R/φ uvažovat průměrné hodnoty vzorku N2 z kontaktu a průměrné hodnoty vzorku N4 z centra intruze, tak je patrný vývoj v posunutí hodnot shlukovacího indexu R o cca +0,1 a v hodnotách krystalinity φ o cca +8 obj.%, což odpovídá teoretickým trajektoriím vývoje magmatu při postupující akumulaci zrn, podle Špillar a Dolejš (2015). Trend vzorků, vyjma vzorku N1, tyto trajektorie kopíruje, jen je jeho počátek posazen v grafu R/φ do nižších hodnot, pod pole náhodného rozmístění (RTT). Tomuto posunutí by mohla odpovídat situace, kdy vmístované magma má již iniciálně shluklý charakter vyrostlic, například z důvodu heterogenní nukleace.

Křivky distribuce velikostí zrn (CSD) většiny vzorků mají zplošťující se tendence v závislosti na poloze vzorku směrem do středu intruze. Linie CSD vzorků N2, N3 a N4 se v grafu kříží a vytváří obou-stranný vějíř, což dokumentuje silnou tokovou diferenciaci konzistentně napříč žilou v souladu s Bangoldovým efektem přemístování zrn. Vzorek N1 z úplného středu intruze má sklon křivky CSD téměř totožný s okrajovým vzorkem N3, linie CSD vzorku N1 je však posunutá do větších velikostí L_{CEq} , což by odpovídalo situaci postupující in-situ krystalizace. Porovnání charakteristických velikostí vyrostlic L_{ch} vzorků N2, N3 a N4 také poukazuje na vývoj od okraje ke středu nárůstem hodnot, představující konzistentně vyvíjející se magmatický tok. Nižší hodnota charakteristické velikosti vyrostlice L_{ch} vzorku N1 opět do společného trendu nezapadá, neodpovídá hodnotě středu intruze. Vzestupné trendy většiny vzorků by však mohly dokládat silně vyvíjející se mechanickou tokovou diferenciaci během vmístění magmatu, odpovídající newtonovské reologii taveniny s parabolickým rychlostním profilem a největšími gradienty rychlosti u okraje intruze. Anomálie vzorku N1 by se dala vysvětlit injekcí pozdějšího stádia zdrojového krbu, v kterém dále probíhala postupující krystalizace, do již existující neutuhlé intruze. Tuto interpretaci by potvrzoval i trend vzorků v grafu R/φ , kde vzorek N1 se též odděluje od zbylé skupiny a jeví se jako vzorek s vyšší mírou počáteční krystalizace, což odpovídá i již zmiňovanému posunu linie CSD.

Intenzivní stavbu dokládající výraznou mechanickou tokovou akumulaci podporují i údaje z grafu úhlů ξ . Výraznější toková stavba ploch vzorku N4 by mohla vysvětlovat, proč mají texturní data různých řezů větší rozptyl hodnot, zejména viditelný v grafu poměr R/φ . Intenzita stavby napříč intruzí dokládá výrazný tok ve všech částech intruze, což by též odpovídalo newtonovskému charakteru toku magmatu v intruzi. Ke stejnému závěru došla i Orságová (2010) studiem anizotropie magnetické susceptibility (AMS) na této lokalitě. Protáhlý habitus vyrostlic draselných živců, který je doložen v grafu poměru velikostí L_{RectA}/L_{RectB} tokovou stavbu dále umocňuje, jelikož velká a anizotropní zrna více reagují na tok a tokem způsobené třídění.

Průběh zonalit draselných živců z Nihošovic určené bodovými analýzami WDS má výrazné fluktuace jak v hlavních tak ve stopových komponentách. Fluktuace mineralogických komponent v rozmezí ± 10 až ± 20 % naznačuje dynamičtější průběh krystalizace než v případě porfyrů z Dolních Nerestců. Výkyvy ve složení by mohly naznačovat mísení magmat o mírně odlišném složení v hlubší historii magmatu. Tato hypotéza je však v rozporu s daty distribuce velikostí zrn (CSD), které neukazují záznam více generací vyrostlic. Pravděpodobně výkyvy obsahů hlavních i stopových komponent jsou následek změn složení magmatu procesy frakcionace nebo jiné taveninové diferenciace.

Triklinita vypočítána z dat RTG záznamu vyrostlice draselného živce z nihošovického porfyru dosahuje hodnoty okolo 0,4, což dosvědčuje spíše částečně uspořádaný draselný živec. Vyrostlice by se eventuálně dala označit jako intermediální mikroklin, respektive draselný živec, který má symetrii $C\bar{1}$, ale stále si uchovává různě orientované domény.

6.3 Pohorsko

V rámci grafu R/φ jsou vzorky P2 a P1, z okrajové části intruze, od sebe značně odsunuté, což může dokládat velký gradient rychlosti toku u okraje intruze magmatu. Okrajový vzorek P1 a vzorek P3 z centra žíly mají podobné vlastnosti v grafu R/φ , což může naznačovat téměř nulový gradient toku magmatu mezi těmito dvěma body. Spojení velkého gradientu toku v těsné blízkosti okraje intruze a téměř nulového gradientu toku ve střední části dokládá tok magmatu binghamovskou reologií. Společný trend vzorků P2, P1 a P3 v grafu R/φ vykazuje posloupnost odpovídající mechanickému nahromadění

vyrostlic v magmatu s počáteční krystalinitou při umístění o 14 obj.% na základě hodnot teoretických linií ze simulací podle Špillar a Dolejš (2015). Vzorek P4, který byl odebíráán ze suťi a ne přímo z pozice žíle, do tohoto trendu nezapadá a je možné, že se může jednat o další magmatický pulz.

Silně lineární charakter křivek distribuce velikostí zrn (CSD) vzorků z lokality Pohorsko dokládá jedno-generační populaci vyrostlic, a zároveň zavrhuje variantu většího statického zrání in-situ. Sklony linií CSD vzorků P2, P1 a P3 jsou v souladu s předpokladem mechanického vytrřídění tokem binghamowského typu, vzorek P2 má strmější sklon než vzorky P1 a P3, které mají své sklony velmi podobné. Vzorek P4, jehož sklon a průběh linie CSD spolu s jeho vysokou krystalinitou se odlišují od trendů definovaných zbylými vzorky, by mohl odpovídat pozdější injekci z mateřského krbu, tvořenou stejným magmatem, ale zachycující pozdější krystalizační etapu krbu.

Vzorky porfyrů z lokality Pohorsko mají podle grafu úhlů ξ nejméně vyvinutou magmatickou stavbu ve srovnání s porfyry z Dolních Nerestců a Nihošovic. Vyrostlice živců z Pohorska jsou zároveň nejvíce izometrické oproti vyrostlicím ostatních dvou lokalit. Méně vyvinutá magmatická stavba může souviset s habitem místních živců, jelikož je toto jediná lokalita s plagioklasy, které mohou mít konzistentnější tvary, a proto je třídění mechanickým tokem tolik neovlivňuje.

V porfyrech z lokality Pohorsko se v případě porfyrických vyrostlic jedná o plagioklasy a v souladu s tím jsou poměry obsahů jejich hlavních a stopových komponent zjištěné bodovými analýzami WDS odlišné od ostatních dvou lokalit. Vyrostlice nemají silně oscilující složení zonalit, přestože jsou zonality stále viditelné ve snímcích z BSE. Výkyvy obsahů hlavních i stopových prvků jsou menší a mají pozvolnější průběh oproti zonalitám vyrostlic z předchozích lokalit. Poznatky z grafu R/φ a grafu distribuce velikostí zrn (CSD) jsou v souladu s projevy zonality. Pravděpodobně se jedná o jedno-generační vyrostlice, které krystalizovaly v relativně pozvolných podmínkách. V mateřském magmatu neprobíhaly náhlé dynamické změny složení ani podmínek krystalizace. Pozorované mírné nabohacenní draslíkem směrem k okraji vyrostlice odpovídá běžné frakcionaci při krystalizaci plagioklasů z magmatu. Mateřské magma se tedy pravděpodobně mohlo vyvíjet v rámci jednoho magmatického krbu a v částečně otevřeném systému taveniny.

6.4 Porovnání lokalit

Kvantitativní texturní analýza zjistila, že porfyrové intruze vše tří lokalit dokumentují záznam mechanické akumulace vyrostlic způsobené tokem magmatu žilou. Lokality se však liší charakterem toku a v míře jeho vlivu na živcové vyrostlice. Porfyr z Dolních Nerestců má nejmenší interval shlukovacího indexu R ze všech tří lokalit, zároveň má velmi jemnozrnnou základní hmotu, která dokládá rychlejší utuhnutí magmatu po vmístění. Toková diferenciace v intruzi v Dolních Nerestcích, pravděpodobně probíhala kratší dobu a neměla možnost více rozvinout uspořádávání vyrostlic, což by jinak bylo pozorovatelné navýšením shlukovacího indexu R . Porfyr z Nihošovic se svou největší amplitudou úhlů ξ a s vějířovitým překřížením linií CSD dokumentuje velmi silnou tokovou diferenciaci napříč intruzí, pravděpodobně odpovídají newtonovské reologii s parabolickým rychlostním profilem toku magmatu. Graf poměru R/φ porfyru z Nihošovic vykazuje progresivní trend tokové diferenciace, přestože je vůči očekávané poloze ponížen do nižších hodnot, pravděpodobně již shluklým charakterem vyrostlic při vmístění magmatu. Živcové vyrostlice nihošovického porfyru jsou nejpodélnější z lokalit, a tudíž více reagují na tokovou diferenciaci, intenzitu stavby dále propagují. Porfyr z Pohorska svými trendy v grafu poměru R/φ a v grafu CSD dokumentuje tok magmatu žilou binghamovskou reologií s velkým gradientem rychlosti toku v okrajové oblasti a téměř nulovým gradientem rychlosti toku v oblasti mezi okrajem a středem intruze. Vyrostlice živců v pohorském porfyru mají nejvíce izometrické tvary, což způsobuje jejich menší ovlivnitelnost tokem. Z tohoto důvodu i přes záznam významné tokové reologie, neutvářejí natolik intenzivní stavbu, což je dokumentováno nejmenší amplitudou úhlů ξ z lokalit, respektive nejmenší intenzitou stavby.

Domnělý charakter hlubinného vývoje mateřského magmatu se napříč lokalitami znatelně odlišuje. Porfyr z Dolních Nerestců má nejvíce konvexní průběh linií CSD, dokládající kontinuální vícegenerační krystalizaci. Spolu s povahou záznamu zonalit draselného živce, který je stabilní v hlavních komponentách a značně fluktuující ve stopových komponentách, se pravděpodobně jednalo a vícefázový vývoj magmatu přes řadu korových úrovní, bez významné frakcionace ale se značnou heterogenitou termálních podmínek a opakované resorpce vyrostlic. Porfyr z Nihošovic má největší výkyvy ve složení hlavních komponent živců a také ve fluktuacích stopových prvků, což hovoří o velmi dynamické

krystalizaci v mateřském magmatu. Průběh linií CSD nihošovického porfyru, ale dokládá přítomnost pouze jedné generace vyrostlic. Dynamické podmínky krystalizace mateřského magmatu byly tedy pravděpodobně hlavně způsobeny procesy frakcionace hlubinného magmatu. Vyrostlice plagioklasů pohorského porfyru mají obsahy hlavních i stopových komponent nejvíce stabilní s minimálními fluktuacemi ze všech lokalit. Spolu s výrazně lineárními průběhy CSD, mělo mateřské magma pohorského porfyru pravděpodobně relativně pozvolnou jednogeneační krystalizaci v rámci jednoho magmatického krbu.

7. Závěr

V této práci bylo využito petrologických a mineralogických postupů k interpretaci vývoje a procesu vmístění magmatu tří různorodých žilných systémů. Trendy v grafech poměrů R/φ a v distribuci velikostí vyrostlic (CSD) poukazují na zachovalou tokovou stavbu a mechanickou tokovou akumulaci v rámci intruze všech tří porfyrových žil. Výsledky texturních analýz granitového porfyru z Dolních Nerestců poukazují na tokovou diferenciaci, které nebylo dovoleno plně rozvinout uspořádávání magmatické stavby, z důvodu rychlejšího utuhávání po vmístění magmatu. Záznam vyrostlic draselného živce z této lokality dokládá kontinuální vícegenerační krystalizaci a analýzy zonalit poukazují na vícefázový magmatický vývoj v soustavě krbů přes několik korových úrovní s minimální frakcionací. Texturní analýzy syenitového porfyru z Nihošovic dokládají silně rozvinutou mechanickou tokovou akumulaci odpovídající newtonovské reologii a intruzi dvou pulzů stejného mateřského magmatu do žíly. Analýzy zonalit draselných živců z této intruze poukazují na dynamickou krystalizaci v rámci hlubinného vývoje s proměnlivými podmínkami, a distribuce velikostí těchto živců dokládá přítomnost pouze jedné generace. Hodnota triklnity draselného živce z porfyru v Nihošovicích byla stanovena na 0,4. Dioritový porfyr z Pohorska svými trendy v grafech R/φ a CSD dokumentuje binghamovskou reologii toku magmatu. Analyzovaná zonalita plagioklasů z pohorského porfyru poukazuje na relativně stabilní podmínky krystalizace a linie CSD dokládají jednogenerační krystalizaci, pravděpodobně v rámci jednoho magmatického krbu.

Seznam použité literatury

- BABŮREK J. A KOL. (2001). *Vysvětlivky k základní geologické mapě ČR v měřítku 1 : 25 000 list 22332 Kašperské Hory*. Český geologický ústav Praha.
- BEST, M. (2002). *Igneous and Metamorphic Petrology*. Wiley. ISBN 978-1-4051-0588-0.
- BRUKER (2014). *Topas 5 - computing program, Bruker AXS GmbH, Karlsruhe*.
- CLARK, P. J. a EVANS, F. C. (1954). Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, **35**(4), 445–453.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. a ZUSSMAN, J. (2013). *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. The Mineralogical Society, London, third edition edition. ISBN 978-0-903056-33-5 978-0-903056-27-4.
- DEGEN, T., SADKI, M., BRON, E., KÖNIG, U. a NÉNERT, G. (2014). The highscore suite. *Powder Diffraction*, **29**(S2), S13–S18. ISSN 0885-7156. doi: 10.1017/S0885715614000840.
- DEUBENER, J., STERNITZKE, M. a MUELLER, G. (1991). Feldspars malsi3o8 (m = h, li, ag) synthesized by low-temperature ion exchange. *American Mineralogist*, **76**(9-10), 1620–1627. ISSN 0003-004X.
- DONNELLY, K. (1978). Simulation to determine the variance and edge-effect of total nearest neighbour distance. *Simulation methods in archeology*.
- EBY, G. (2004). *Principles of Environmental Geochemistry*. Brooks Cole-Thomson Learning.
- GATES-RECTOR, S. a BLANTON, T. (2019). The powder diffraction file: a quality materials characterization database. *Powder Diffraction*, **34**(4), 352–360. ISSN 0885-7156. doi: 10.1017/S0885715619000812.
- GOLDSMITH, J. R. a LAVES, F. (1954). The microcline-sanidine stability relations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **5**(1), 1–19. ISSN 0016-7037. doi: 10.1016/0016-7037(54)90058-7. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016703754900587>.
- HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. a DUB, P. (2013). *Fyzika*. Překlady vysokoškolských učebnic ; svazek 4. VUTIUM, Brno, druhé přepracované vydání edition. ISBN 978-80-214-4123-1.
- HEJTMAN, B. (1948). Vápencové ložisko u dolního nerestce (mirovicko). **23**, 277–292.

- HELLENBRANDT, M. (2004). The inorganic crystal structure database (icsd)—present and future. *Crystallography Reviews*, **10**(1), 17–22. doi: 10.1080/08893110410001664882. URL <https://doi.org/10.1080/08893110410001664882>.
- HIGGINS, M. (2011). Textural coarsening in igneous rocks. *International Geology Review*, **53**, 354–376.
- HIGGINS, M. D. a ROBERGE, J. (2003). Crystal Size Distribution of Plagioclase and Amphibole from Soufrière Hills Volcano, Montserrat: Evidence for Dynamic Crystallization–Textural Coarsening Cycles. *Journal of Petrology*, **44**(8), 1401–1411. ISSN 0022-3530.
- HORVAT, M., TIBLJAŠ, D., BUDA, G. a LOVAS, G. (2011). X-ray study of potassium feldspars from different granitoid types and gneisses of Papuk Mt. (Slavonia, Croatia). *Geologia Croatica*, **64**(2), 153–162. ISSN 1330030X, 13334875. doi: 10.4154/gc.2011.13.
- JERRAM, D. A., CHEADLE, M. J., HUNTER, R. H. a ELLIOTT, M. T. (1996). The spatial distribution of grains and crystals in rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **125**(1), 60–74.
- KRETZ, R. (1966). Grain-size distribution for certain metamorphic minerals in relation to nucleation and growth. *The Journal of Geology*, **74**(2), 147–173.
- KUBÍNOVÁ, Š. (2019). *Minerální a chemické změny během krystalizace magmatu a tvorby pozdně variských intruzí a žil v moldanubické zóně Českého masívu*. Disertační práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká Fakulta.
- LANDI, P., LA FELICE, S., PETRELLI, M., VEZZOLI, L. M. a PRINCIPE, C. (2019). Deciphering textural and chemical zoning of K-feldspar megacrysts from Mt. Amiata Volcano (Southern Tuscany, Italy): Insights into the petrogenesis and abnormal crystal growth. *Lithos*, **324–325**, 569–583. ISSN 0024-4937.
- LUBBERS, J., KENT, A., MEISENHEIMER, D. a WILDENSCHILD, D. (2023). 3d zoning of barium in alkali feldspar. *American Mineralogist*, **108**(2), 297–311. ISSN 0003-004X. doi: 10.2138/am-2022-8139. URL <https://doi.org/10.2138/am-2022-8139>.
- MARSH, B. (1988). Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **99**, 277–291.
- MARSH, B. D. (1998). On the Interpretation of Crystal Size Distributions in Magmatic Systems. *Journal of Petrology*, **39**(4), 553–599. ISSN 0022-3530.
- MOCK, A., JERRAM, D. A. a BREITKREUZ, C. (2003). Using Quantitative Textural Analysis to Understand the Emplacement of Shallow-Level Rhyolitic Laccoliths—a Case Study from the Halle Volcanic Complex, Germany. *Journal of Petrology*, **44**(5), 833–849. ISSN 0022-3530.
- ORSÁGOVÁ, L. (2010). *Mechanismy umístění a magnetické stavby žil syenitových porfyrů (západní části Moldanubika)*. Diplomová práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha.

- PERUGINI, D., POLI, G. a VALENTINI, L. (2005). Strange attractors in plagioclase oscillatory zoning: Petrological implications. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **149**(4), 482–497.
- PROSSER, V. (1989). *Experimentální metody biofyziky*. Academia, Praha, 1. vydání edition. ISBN 80-200-0059-3.
- PUTNIS, A. (1992). *Introduction to Mineral Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge [England] ; New York. ISBN 978-0-521-41922-2 978-0-521-42947-4.
- RANDOLPH, AD. a LARSON, MA. (1988). *Theory of Particulate Processes*. Academic Press, Inc., 2nd edition.
- SIMAKIN, AG. a BINDEMAN, IN. (2008). Evolution of crystal sizes in the series of dissolution and precipitation events in open magma systems. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **177**(4), 997–1010.
- SŁABY, E., ŚMIGIELSKI, M., ŚMIGIELSKI, T., DOMONIK, A., SIMON, K. a KRONZ, A. (2011). Chaotic three-dimensional distribution of Ba, Rb, and Sr in feldspar megacrysts grown in an open magmatic system. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **162** (5), 909–927.
- SMRČOK, L. . (1994). *Difrakcia na polykryštalických látkach*. R&D Print, Bratislava. ISBN 80-85488-01-9.
- ŠPILLAR, V. a DOLEJŠ, D. (2014). Kinetic model of nucleation and growth in silicate melts: Implications for igneous textures and their quantitative description. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **131**, 164–183. ISSN 0016-7037.
- ŠPILLAR, V. a DOLEJŠ, D. (2015). Melt extraction from crystal mushes: Numerical model of texture evolution and calibration of crystallinity-ordering relationships. *Lithos*, **239**, 19–32. ISSN 0024-4937.
- VALVODA, V., POLCAROVÁ, M. a LUKÁČ, P. (1992). *Základy strukturní analýzy*. Karolinum, Praha, 1. vydání edition. ISBN 80-7066-648-X.
- YANG, Z.-F. (2012). Combining Quantitative Textural and Geochemical Studies to Understand the Solidification Processes of a Granite Porphyry: Shanggusi, East Qinling, China. *Journal of Petrology*, **53**(9), 1807–1835. ISSN 0022-3530.

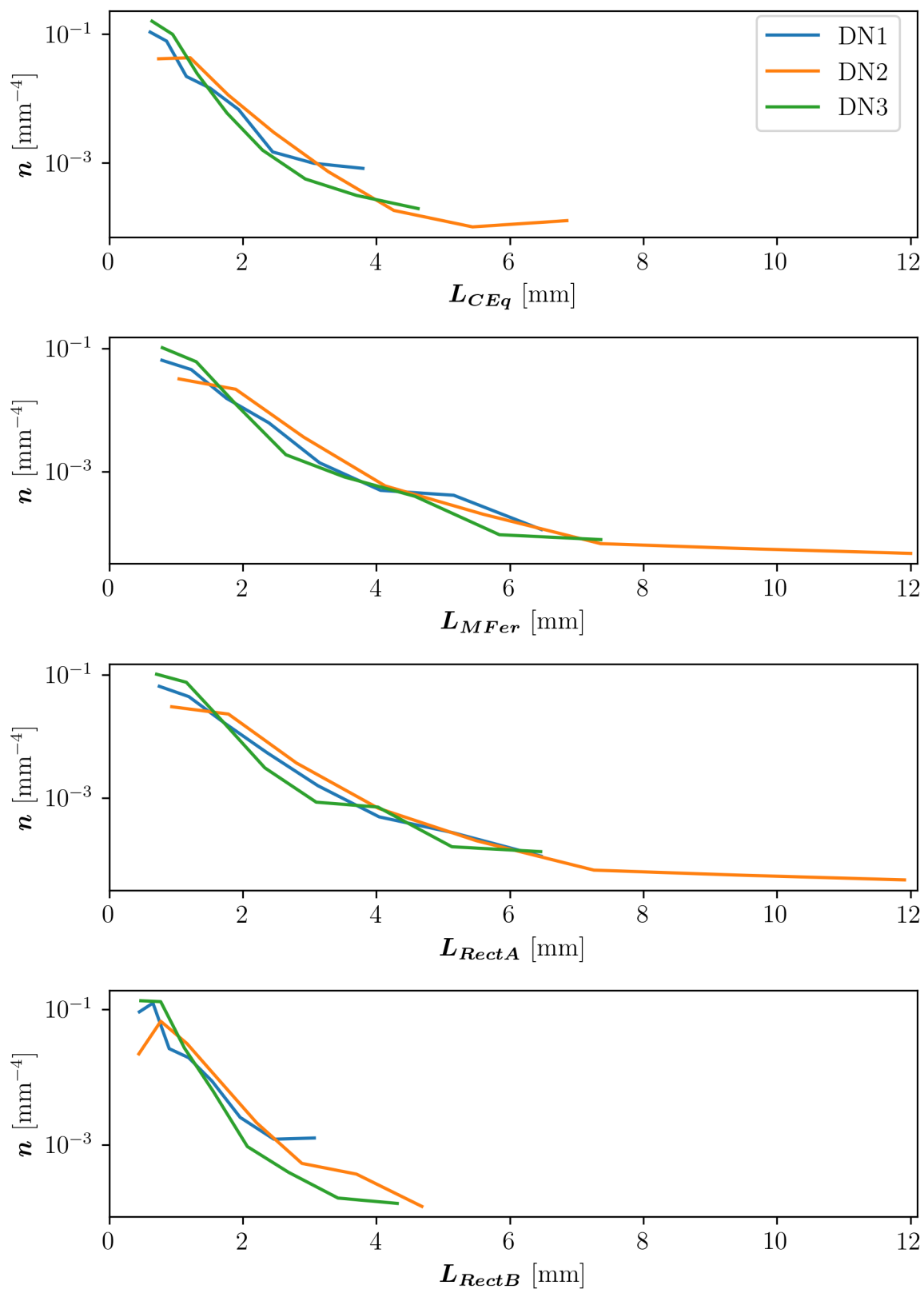
A. Přílohy

A.1 Přehled vzorků

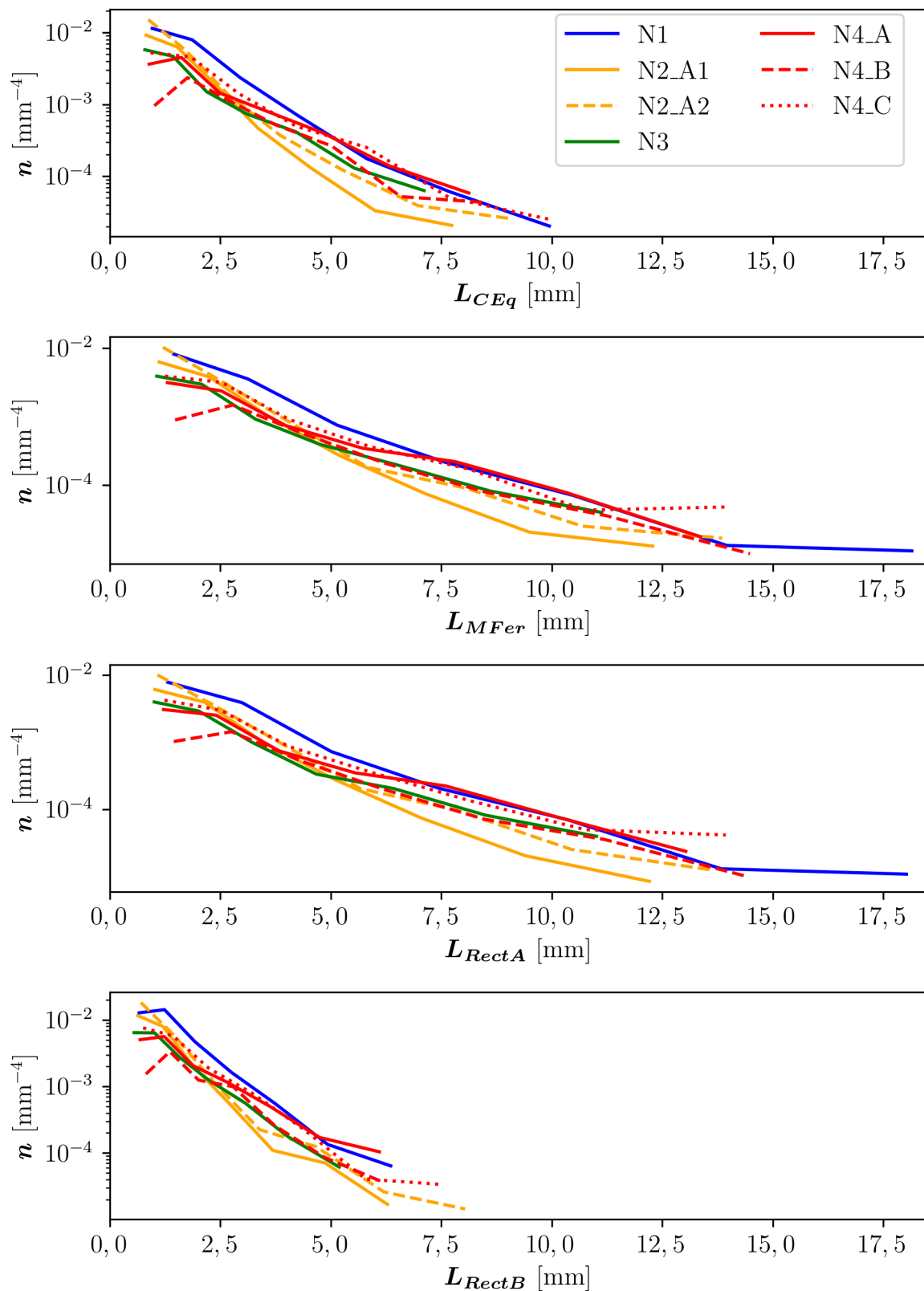
Tabulka A.1: Přehled lokalit, vzorků a prováděných analýz.

Lokalita souřadnice	Vzorek	Popis odběru	Kvantitativní texturní analýza	XRD	EPMA počet profilů
Dolní Nerestce 49°30'31,79"N, 14°4'5,031"E	DN1	1 m od V kontaktu žíly	DN1	-	5
	DN2	± střed žíly (blok)	DN2	-	-
	DN3	horní kontakt žíly	DN3	-	-
Nihošovice 49°10'57,465"N, 13°51'8,317"E	N1	8,5 m od SSZ kontaktu (± střed žíly)	N1	-	-
	N2	J kontakt žíly	N2_A1, A2	-	-
	N3	1,5 m od S kontaktu	N3	-	4
	N4	3,7 m od S kontaktu	N4_A, B, C	N4	6
Pohorsko 49°9'4,175"N, 13°37'51,434"E	P1	70 cm od JJV kontaktu	P1	-	3
	P2	5 cm od JJV kontaktu	P2	-	-
	P3	58 m od JJV kontaktu	P3	-	3
	P4	suť	P4	-	-

A.2 Přehled grafů CSD

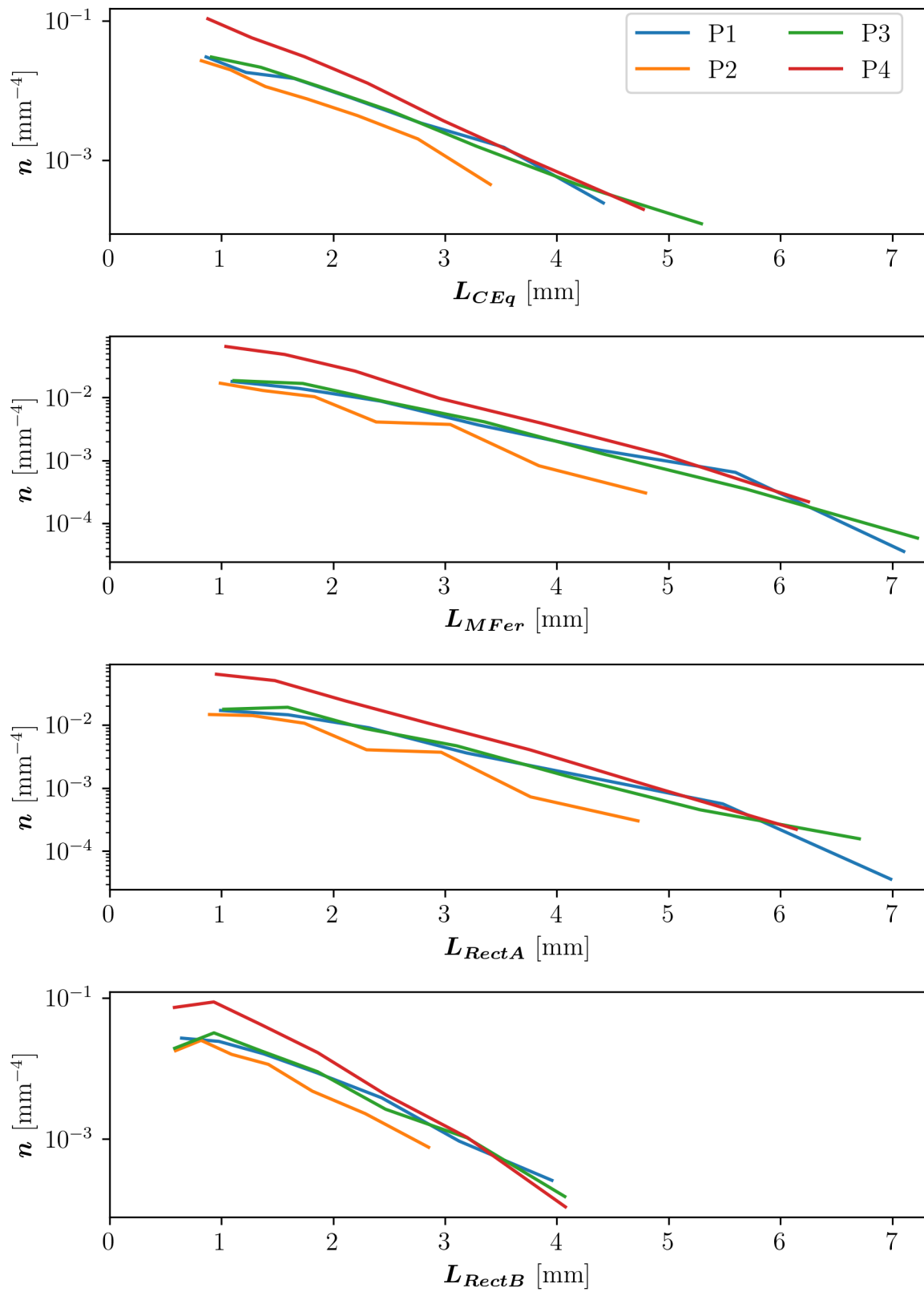


Obrázek A.1: Porovnání použitých aproximací velikosti vyrostlic L pro D. Nerestce.

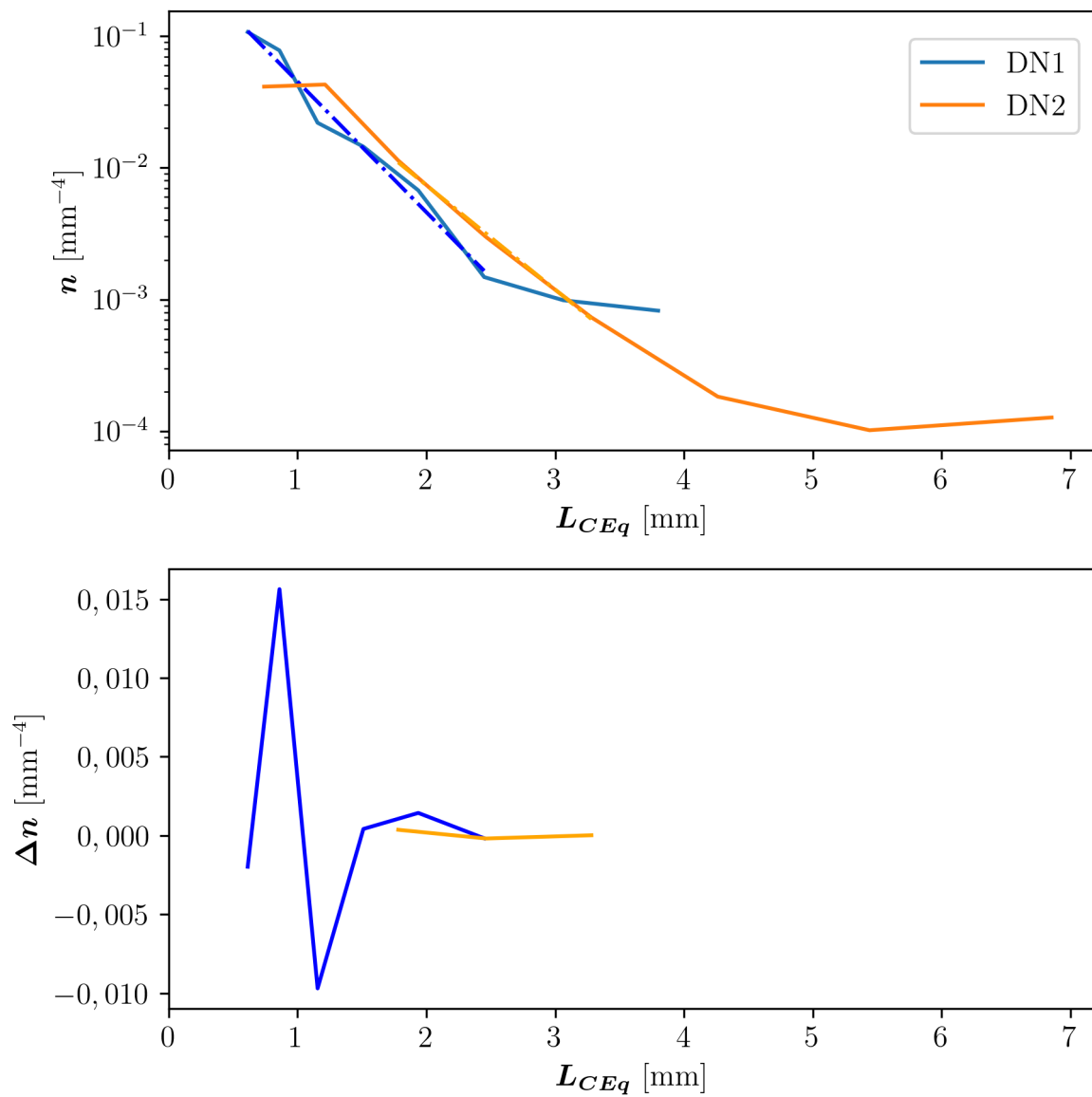


Obrázek A.2: Porovnání použitých aproximací velikosti vyrostlic L pro Nihošovice.

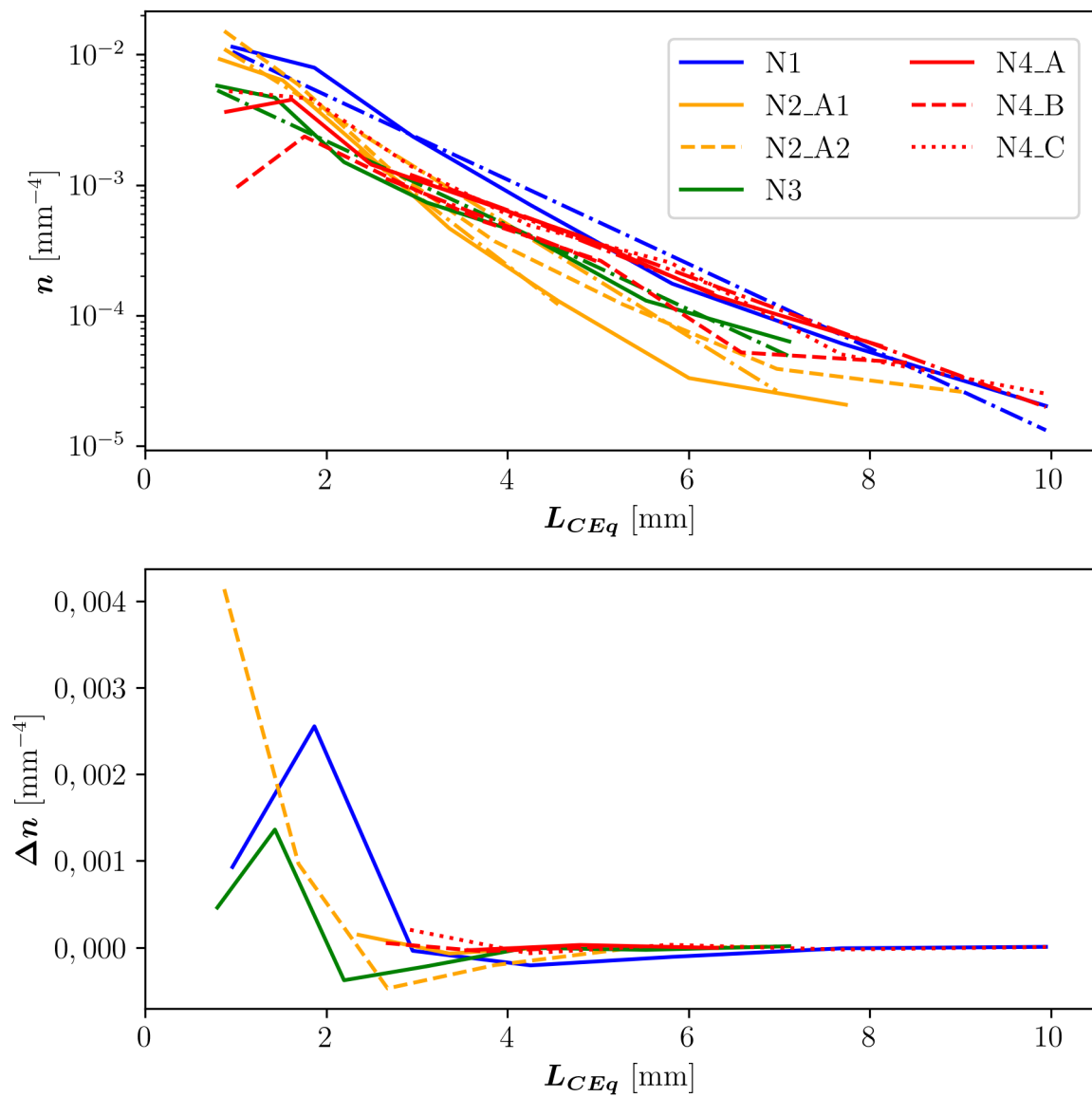
A.3 Doplnující grafy lineárních fitů CSD



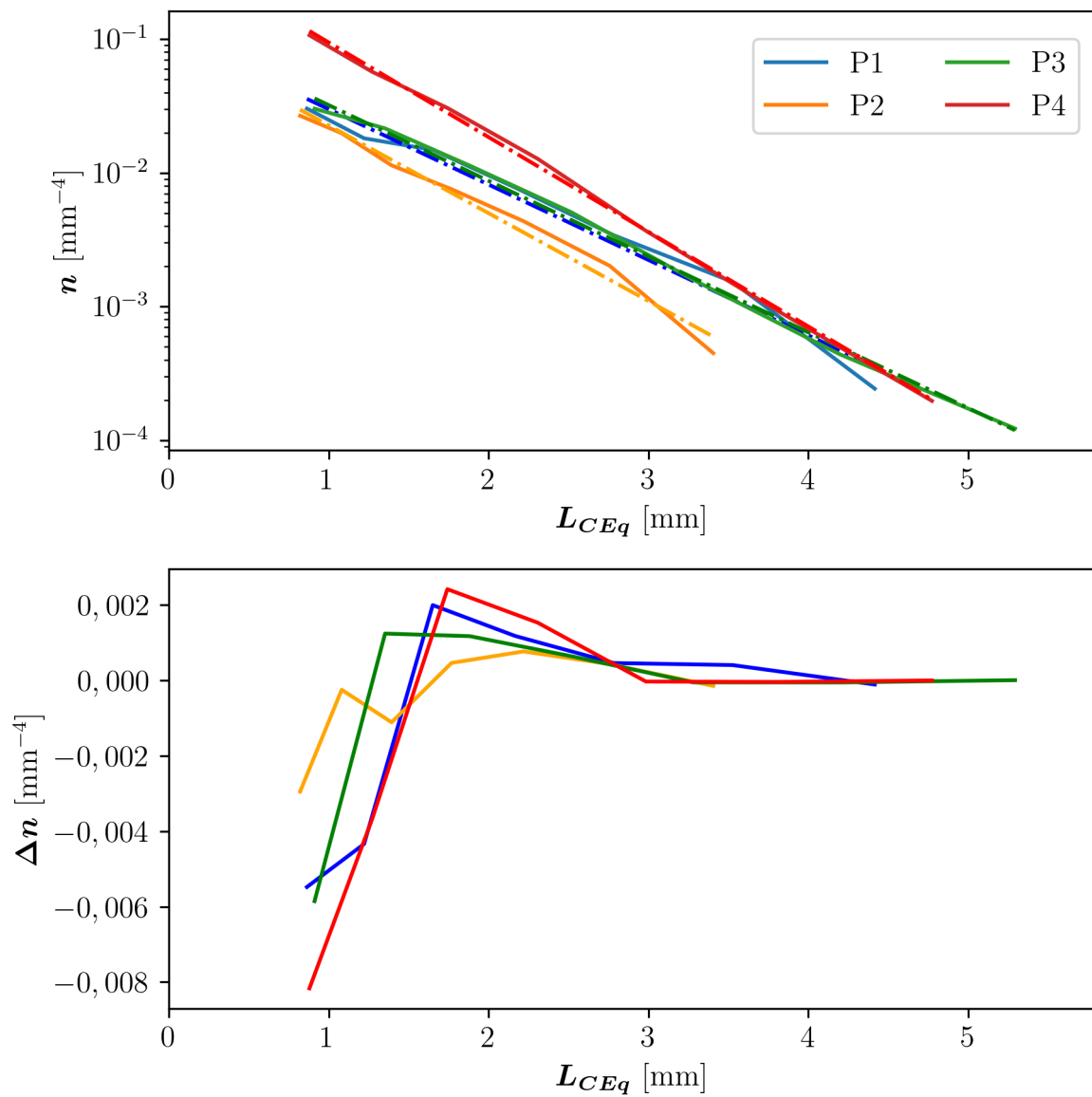
Obrázek A.3: Porovnání použitých aproximací velikosti vyrostlic L pro Pohorsko.



Obrázek A.4: Lineární fit CSD lokality Dolní Nerestce s rezidui po fitování.



Obrázek A.5: Lineární fit CSD lokality Nihošovice s rezidui po fitování.



Obrázek A.6: Lineární fit CSD lokality Pohorsko s rezidui po fitování.